SYSTEMS & BEER

PROCESS, ENERGY CALCULUS AND APPARATUS

FIRST EDITION



MARCET E. and MEDELL M.

SYSTEMS & BEER

FIRST EDITION

PRODUCCIÓN DE CERVEZA, CÁLCULOS DE ENERGÍA Y EQUIPOS

ENRIQUE MARCET & MANUEL MEDELL

PARTE 1

ISBN 978-1500980085



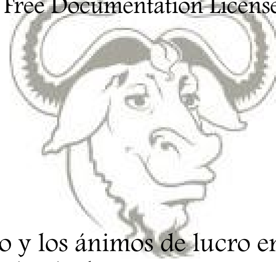
INFORMACIÓN Y LICENCIA DE DISTRIBUCIÓN

Título original: Systems & Beer
Autor(es): Enrique Marcet & Manuel Medell
Idioma: Español
Editor: Frank Martín
Año de publicación: 2014

ISBN-13: 978-1500980085

A la memoria de Pedro Marcet.

"Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad".
Albert Einstein



"La privatización del conocimiento científico y los ánimos de lucro en la divulgación, son sinónimos del egoísmo y precursores del desconocimiento y de la miseria humana. Compartir la información y el conocimiento, es la manera más urgente de ayudar a la humanidad"

Los Autores

GNU FREE DOCUMENTATION LICENSE

Version 1.3, 3 November 2008

0. PREAMBLE

The purpose of this License is to make a manual, textbook, or other functional and useful document "free" in the sense of freedom: to assure everyone the effective freedom to copy and redistribute it, with or without modifying it, either commercially or non commercially. Secondarily, this License preserves for the author and publisher a way to get credit for their work, while not being considered responsible for modifications made by others.

This License is a kind of "copyleft", which means that derivative works of the document must themselves be free in the same sense. It complements the GNU General Public License, which is a copyleft license designed for free software.

We have designed this License in order to use it for manuals for free software, because free software needs free documentation: a free program should come with manuals providing the same freedoms that the software does. But this License is not limited to software manuals; it can be used for any textual work, regardless of subject matter or whether it is published as a printed book. We recommend this License principally for works whose purpose is instruction or reference.

1. APPLICABILITY AND DEFINITIONS

This License applies to any manual or other work, in any medium, that contains a notice placed by the copyright holder saying it can be distributed under the terms of this License. Such a notice grants a world-wide, royalty-free license, unlimited in duration, to use that work under the conditions stated herein. The "Document", below, refers to any such manual or work. Any member of the public is a licensee, and is addressed as "you". You accept the license if you copy, modify or distribute the work in a way requiring permission under copyright law.

A "Modified Version" of the Document means any work containing the Document or a portion of it, either copied verbatim, or with modifications and/or translated into another language.

A "Secondary Section" is a named appendix or a front-matter section of the Document that deals exclusively with the relationship of the publishers or authors of the Document to the Document's overall subject (or to related matters) and contains nothing that could fall directly within that overall subject. (Thus, if the Document is in part a textbook of mathematics, a Secondary Section may not explain any mathematics.) The relationship could be a matter of historical connection with the subject or with related matters, or of legal, commercial, philosophical, ethical or political position regarding them.

The "Invariant Sections" are certain Secondary Sections whose titles are designated, as being those of Invariant Sections, in the notice that says that the Document is released under this License. If a section does not fit the above definition of Secondary then it is not allowed to be designated as Invariant. The Document may contain zero Invariant Sections. If the Document does not identify any Invariant Sections then there are none.

The "Cover Texts" are certain short passages of text that are listed, as Front-Cover Texts or Back-Cover Texts, in the notice that says that the Document is released under this License. A Front-Cover Text may be at most 5 words, and a Back-Cover Text may be at most 25 words.

A "Transparent" copy of the Document means a machine-readable copy, represented in a format whose specification is available to the general public, that is suitable for revising the document straightforwardly with generic text editors or (for images composed of pixels) generic paint programs or (for drawings) some widely available drawing editor, and that is suitable for input to text formatters or for automatic translation to a variety of formats suitable for input to text formatters. A copy made in an otherwise Transparent file format whose markup, or absence of markup, has been arranged to thwart or discourage subsequent

modification by readers is not Transparent. An image format is not Transparent if used for any substantial amount of text. A copy that is not "Transparent" is called "Opaque".
Examples of suitable formats for Transparent copies include plain ASCII without markup, Texinfo input format, LaTeX input format, SGML or XML using a publicly available DTD, and standard-conforming simple HTML, PostScript or PDF designed for human modification. Examples of transparent image formats include PNG, XCF and JPG. Opaque formats include proprietary formats that can be read and edited only by proprietary word processors, SGML or XML for which the DTD and/or processing tools are not generally available, and the machine-generated HTML, PostScript or PDF produced by some word processors for output purposes only.
The "Title Page" means, for a printed book, the title page itself, plus such following pages as are needed to hold, legibly, the material this License requires to appear in the title page. For works in formats which do not have any title page as such, "Title Page" means the text near the most prominent appearance of the work's title, preceding the beginning of the body of the text.
The "publisher" means any person or entity that distributes copies of the Document to the public.
A section "Entitled XYZ" means a named subunit of the Document whose title either is precisely XYZ or contains XYZ in parentheses following text that translates XYZ in another language. (Here XYZ stands for a specific section name mentioned below, such as "Acknowledgements", "Dedications", "Endorsements", or "History".) To "Preserve the Title" of such a section when you modify the Document means that it remains a section "Entitled XYZ" according to this definition.
The Document may include Warranty Disclaimers next to the notice which states that this License applies to the Document. These Warranty Disclaimers are considered to be included by reference in this License, but only as regards disclaiming warranties: any other implication that these Warranty Disclaimers may have is void and has no effect on the meaning of this License.

2. **VERBATIM COPYING**

You may copy and distribute the Document in any medium, either commercially or noncommercially, provided that this License, the copyright notices, and the license notice saying this License applies to the Document are reproduced in all copies, and that you add no other conditions whatsoever to those of this License. You may not use technical measures to obstruct or control the reading or further copying of the copies you make or distribute. However, you may accept compensation in exchange for copies. If you distribute a large enough number of copies you must also follow the conditions in section 3.
You may also lend copies, under the same conditions stated above, and you may publicly display copies.

3. **COPYING IN QUANTITY**

If you publish printed copies (or copies in media that commonly have printed covers) of the Document, numbering more than 100, and the Document's license notice requires Cover Texts, you must enclose the copies in covers that carry, clearly and legibly, all these Cover Texts: Front-Cover Texts on the front cover, and Back-Cover Texts on the back cover. Both covers must also clearly and legibly identify you as the publisher of these copies. The front cover must present the full title with all words of the title equally prominent and visible. You may add other material on the covers in addition. Copying with changes limited to the covers, as long as they preserve the title of the Document and satisfy these conditions, can be treated as verbatim copying in other respects.
If the required texts for either cover are too voluminous to fit legibly, you should put the first ones listed (as many as fit reasonably) on the actual cover, and continue the rest onto adjacent pages.
If you publish or distribute Opaque copies of the Document numbering more than 100, you must either include a machine-readable Transparent copy along with each Opaque copy, or state in or with each Opaque copy a computer-network location from which the general network-using public has access to download using public-standard network protocols a complete Transparent copy of the Document, free of added material. If you use the latter option, you must take reasonably prudent steps, when you begin distribution of Opaque copies in quantity, to ensure that this Transparent copy will remain thus accessible at

the stated location until at least one year after the last time you distribute an Opaque copy (directly or through your agents or retailers) of that edition to the public.
It is requested, but not required, that you contact the authors of the Document well before redistributing any large number of copies, to give them a chance to provide you with an updated version of the Document.

4. **MODIFICATIONS**
You may copy and distribute a Modified Version of the Document under the conditions of sections 2 and 3 above, provided that you release the Modified Version under precisely this License, with the Modified Version filling the role of the Document, thus licensing distribution and modification of the Modified Version to whoever possesses a copy of it. In addition, you must do these things in the Modified Version:
A. Use in the Title Page (and on the covers, if any) a title distinct from that of the Document, and from those of previous versions (which should, if there were any, be listed in the History section of the Document). You may use the same title as a previous version if the original publisher of that version gives permission.
B. List on the Title Page, as authors, one or more persons or entities responsible for authorship of the modifications in the Modified Version, together with at least five of the principal authors of the Document (all of its principal authors, if it has fewer than five), unless they release you from this requirement.
C. State on the Title page the name of the publisher of the Modified Version, as the publisher.
D. Preserve all the copyright notices of the Document.
E. Add an appropriate copyright notice for your modifications adjacent to the other copyright notices.
F. Include, immediately after the copyright notices, a license notice giving the public permission to use the Modified Version under the terms of this License, in the form shown in the Addendum below.
G. Preserve in that license notice the full lists of Invariant Sections and required Cover Texts given in the Document's license notice.
H. Include an unaltered copy of this License.
I. Preserve the section Entitled "History", Preserve its Title, and add to it an item stating at least the title, year, new authors, and publisher of the Modified Version as given on the Title Page. If there is no section Entitled "History" in the Document, create one stating the title, year, authors, and publisher of the Document as given on its Title Page, then add an item describing the Modified Version as stated in the previous sentence.
J. Preserve the network location, if any, given in the Document for public access to a Transparent copy of the Document, and likewise the network locations given in the Document for previous versions it was based on. These may be placed in the "History" section. You may omit a network location for a work that was published at least four years before the Document itself, or if the original publisher of the version it refers to gives permission.
K. For any section Entitled "Acknowledgements" or "Dedications", Preserve the Title of the section, and preserve in the section all the substance and tone of each of the contributor acknowledgements and/or dedications given therein.
L. Preserve all the Invariant Sections of the Document, unaltered in their text and in their titles. Section numbers or the equivalent are not considered part of the section titles.
M. Delete any section Entitled "Endorsements". Such a section may not be included in the Modified Version.
N. Do not retitle any existing section to be Entitled "Endorsements" or to conflict in title with any Invariant Section.
O. Preserve any Warranty Disclaimers.
If the Modified Version includes new front-matter sections or appendices that qualify as Secondary Sections and contain no material copied from the Document, you may at your option designate some or all of these sections as invariant. To do this, add their titles to the list of Invariant Sections in the Modified Version's license notice. These titles must be distinct from any other section titles.

You may add a section Entitled "Endorsements", provided it contains nothing but endorsements of your Modified Version by various parties—for example, statements of peer review or that the text has been approved by an organization as the authoritative definition of a standard.
You may add a passage of up to five words as a Front-Cover Text, and a passage of up to 25 words as a Back-Cover Text, to the end of the list of Cover Texts in the Modified Version. Only one passage of Front-Cover Text and one of Back-Cover Text may be added by (or through arrangements made by) any one entity. If the Document already includes a cover text for the same cover, previously added by you or by arrangement made by the same entity you are acting on behalf of, you may not add another; but you may replace the old one, on explicit permission from the previous publisher that added the old one.
The author(s) and publisher(s) of the Document do not by this License give permission to use their names for publicity for or to assert or imply endorsement of any Modified Version.

5. COMBINING DOCUMENTS

You may combine the Document with other documents released under this License, under the terms defined in section 4 above for modified versions, provided that you include in the combination all of the Invariant Sections of all of the original documents, unmodified, and list them all as Invariant Sections of your combined work in its license notice, and that you preserve all their Warranty Disclaimers.
The combined work need only contain one copy of this License, and multiple identical Invariant Sections may be replaced with a single copy. If there are multiple Invariant Sections with the same name but different contents, make the title of each such section unique by adding at the end of it, in parentheses, the name of the original author or publisher of that section if known, or else a unique number. Make the same adjustment to the section titles in the list of Invariant Sections in the license notice of the combined work.
In the combination, you must combine any sections Entitled "History" in the various original documents, forming one section Entitled "History"; likewise combine any sections Entitled "Acknowledgements", and any sections Entitled "Dedications". You must delete all sections Entitled "Endorsements".

6. COLLECTIONS OF DOCUMENTS

You may make a collection consisting of the Document and other documents released under this License, and replace the individual copies of this License in the various documents with a single copy that is included in the collection, provided that you follow the rules of this License for verbatim copying of each of the documents in all other respects.
You may extract a single document from such a collection, and distribute it individually under this License, provided you insert a copy of this License into the extracted document, and follow this License in all other respects regarding verbatim copying of that document.

7. AGGREGATION WITH INDEPENDENT WORKS

A compilation of the Document or its derivatives with other separate and independent documents or works, in or on a volume of a storage or distribution medium, is called an "aggregate" if the copyright resulting from the compilation is not used to limit the legal rights of the compilation's users beyond what the individual works permit. When the Document is included in an aggregate, this License does not apply to the other works in the aggregate which are not themselves derivative works of the Document.
If the Cover Text requirement of section 3 is applicable to these copies of the Document, then if the Document is less than one half of the entire aggregate, the Document's Cover Texts may be placed on covers that bracket the Document within the aggregate, or the electronic equivalent of covers if the Document is in electronic form. Otherwise they must appear on printed covers that bracket the whole aggregate.

8. **TRANSLATION**

Translation is considered a kind of modification, so you may distribute translations of the Document under the terms of section 4. Replacing Invariant Sections with translations requires special permission from their copyright holders, but you may include translations of some or all Invariant Sections in addition to the original versions of these Invariant Sections. You may include a translation of this License, and all the license notices in the Document, and any Warranty Disclaimers, provided that you also include the original English version of this License and the original versions of those notices and disclaimers. In case of a disagreement between the translation and the original version of this License or a notice or disclaimer, the original version will prevail.

If a section in the Document is Entitled "Acknowledgements", "Dedications", or "History", the requirement (section 4) to Preserve its Title (section 1) will typically require changing the actual title.

9. **TERMINATION**

You may not copy, modify, sublicense, or distribute the Document except as expressly provided under this License. Any attempt otherwise to copy, modify, sublicense, or distribute it is void, and will automatically terminate your rights under this License.

However, if you cease all violation of this License, then your license from a particular copyright holder is reinstated (a) provisionally, unless and until the copyright holder explicitly and finally terminates your license, and (b) permanently, if the copyright holder fails to notify you of the violation by some reasonable means prior to 60 days after the cessation.

Moreover, your license from a particular copyright holder is reinstated permanently if the copyright holder notifies you of the violation by some reasonable means, this is the first time you have received notice of violation of this License (for any work) from that copyright holder, and you cure the violation prior to 30 days after your receipt of the notice.

Termination of your rights under this section does not terminate the licenses of parties who have received copies or rights from you under this License. If your rights have been terminated and not permanently reinstated, receipt of a copy of some or all of the same material does not give you any rights to use it.

10. **FUTURE REVISIONS OF THIS LICENSE**

The Free Software Foundation may publish new, revised versions of the GNU Free Documentation License from time to time. Such new versions will be similar in spirit to the present version, but may differ in detail to address new problems or concerns. See http://www.gnu.org/copyleft/.

Each version of the License is given a distinguishing version number. If the Document specifies that a particular numbered version of this License "or any later version" applies to it, you have the option of following the terms and conditions either of that specified version or of any later version that has been published (not as a draft) by the Free Software Foundation. If the Document does not specify a version number of this License, you may choose any version ever published (not as a draft) by the Free Software Foundation. If the Document specifies that a proxy can decide which future versions of this License can be used, that proxy's public statement of acceptance of a version permanently authorizes you to choose that version for the Document.

11. **RELICENSING**

"Massive Multiauthor Collaboration Site" (or "MMC Site") means any World Wide Web server that publishes copyrightable works and also provides prominent facilities for anybody to edit those works. A public wiki that anybody can edit is an example of such a server. A "Massive Multiauthor Collaboration" (or "MMC") contained in the site means any set of copyrightable works thus published on the MMC site.

"CC-BY-SA" means the Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 license published by Creative Commons Corporation, a not-for-profit corporation with a principal place of business in San Francisco, California, as well as future copyleft versions of that license published by that same organization.

"Incorporate" means to publish or republish a Document, in whole or in part, as part of another Document.

An MMC is "eligible for relicensing" if it is licensed under this License, and if all works that were first published under this License somewhere other than this MMC, and subsequently incorporated in whole or in part into the MMC, (1) had no cover texts or invariant sections, and (2) were thus incorporated prior to November 1, 2008.

The operator of an MMC Site may republish an MMC contained in the site under CC-BY-SA on the same site at any time before August 1, 2009, provided the MMC is eligible for relicensing.

ADDENDUM: How to use this License for your documents

To use this License in a document you have written, include a copy of the License in the document and put the following copyright and license notices just after the title page:

Copyright (C) YEAR YOUR NAME.
Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document
under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.3
or any later version published by the Free Software Foundation;
with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts.
A copy of the license is included in the section entitled "GNU
Free Documentation License".

If you have Invariant Sections, Front-Cover Texts and Back-Cover Texts, replace the "with ... Texts." line with this:

With the Invariant Sections being LIST THEIR TITLES, with the
Front-Cover Texts being LIST, and with the Back-Cover Texts being LIST.

If you have Invariant Sections without Cover Texts, or some other combination of the three, merge those two alternatives to suit the situation.

If your document contains nontrivial examples of program code, we recommend releasing these examples in parallel under your choice of free software license, such as the GNU General Public License, to permit their use in free software.

AL LECTOR

En este libro se tratan asuntos relacionados con el proceso de producción de cerveza desde los niveles más elementales hasta los cálculos del proceso de producción, balances energéticos, microbiología y bioquímica de la cerveza. Se analizan además, las tendencias tecnológicas en la producción de cerveza.
Se describe detenidamente el proceso de elaboración de cerveza en todas sus etapas, los métodos básicos y avanzados de cálculo referidos tanto a procesos físicos como químicos. Se presta mucha atención a los balances energéticos, métodos para la purificación y conservación de levaduras, y a la resolución de problemas relacionados con la industria cervecera.
Este material cuenta con ejemplos resueltos y problemas que reflejan los contratiempos más comunes de la industria.
Este contenido, tiene como objetivo educar al productor de cerveza desde el punto de vista de la ingeniería del proceso, dejando atrás algunas técnicas que se contraponen al ahorro energético. Esperamos que tenga paciencia para llegar hasta el final.

Los autores.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer especialmente a:

Marcelo Marcet Sánchez
Ricardo Medell
Diliam T. Cueto
Marcelo Marcet Palacios
Miriam Marcet
Jorge Alvares
Belkis García Soto
Rodolfo Valdés
José Francisco Galán
Yigany Vila
David Alvares Medell
Beatriz Gutiérrez Benavides
Beatriz Gago
Mariana Medell
Raúl Carrillo Ulloa
Gustavo Nevares
Ramón Cueto
Diliam Casanova
Yacer Medell
Laila Gutiérrez
Alicia Martínez
Carmen Corso Ojedas.
Jorge Cabreras
Juan Carlos Setti

Por su colaboración y apoyo brindado para la publicación de este libro.

*Queremos agradecer especialmente al todo el movimiento de cerveceros caseros de la Argentina, pues sin ellos, este trabajo no hubiese sido posible.

EDITORES Y COAUTORES

*Dr. Marcelo Marcet Sánchez: Profesor e Investigador Titular (UMCC), Facultad de Ingeniería Química, Cuba.

*Lic. Juan Carlos Setti: Autor del Método: Conservación de Levaduras en agua por largos períodos (p. 55 - 58). Argentina.

*Gustavo Nevares: Autor de la Conferencia: La cerveza en la actualidad (p. 1-5). Argentina

*Dr. Raúl Carrillo Ulloa: Investigador Titular de IIIA (Cuba). Especialista principal de producción industrial de cerveza en Cuba.

DATOS DE LOS AUTORES

*Enrique Marcet
marcet.enrike@gmail.com
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (cujae)
Ingeniería Química

*Manuel Medell
medell@cip.alinet.cu
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (cujae)
Ingeniería Química

CONTENIDO

LA CERVEZA EN LA ACTUALIDAD

Conferencia de Gustavo Nevares en el IX Simposio Internacional de Producción de Alcoholes y Levaduras.
Especialista en la producción de cerveza artesanal.

Mi nombre es Gustavo Nevares; me acompaña el Dr. Pedro Jiménez.
Para presentarnos formalmente, diré que Pedro Giménez es Médico Patólogo; yo soy Epistemólogo.
Esta diversidad en nuestras formaciones de grado, no es una rareza entre los cerveceros artesanales.
Tanto Pedro como yo, más allá de nuestras profesiones, hemos formado parte desde hace más de diez años, del desarrollo de la actividad cervecera artesanal, y del movimiento de cerveceros caseros en particular.
En mi formación como cervecero estudié *Elaboración de Cervezas y Vinos* en la Facultad de Agronomía de Buenos Aires, para luego especializarme en la *Percepción sensorial de defectos de fabricación de bebidas alcohólicas*, inicialmente en la Universidad de Lanús en Argentina, y luego en mayor profundidad, en la Universidad de Sherbrooke, en Quebec. El tema de la elaboración de cerveza en medios universitarios, es uno de los tópicos que comentaremos hoy.

Actualmente tengo la oportunidad de devolver parte de lo aprendido, y colaboro como miembro de la cooperativa Sherbroue en esta última universidad. Por otra parte, también soy moderador de un foro de Internet que nuclea a cerveceros de casi todos los países de lengua hispana. También formo parte de Montrealers y Sodz, los cuales reúnen a los anglófonos de América del norte, y de Bieropholie que hace lo propio con los francófonos.
Todo lo dicho hasta ahora, es para poder explicar, como lo que en un inicio es un entretenimiento, o una manera de crear algo que se ajuste más a lo que nos gusta, a menudo nos lleva a ser más específicos, a adquirir conocimientos técnicos que nos permitan perfeccionar lo que hacemos, pero; no todos nos sumergimos tanto en el estudio.

La mayor parte de los cerveceros artesanales surfean en un área muy particular, entre la ciencia y la técnica, que los emparenta con los artesanos de otras épocas. Estos cerveceros artesanales han sido la punta de lanza del retorno de una forma de considerar la cerveza que se había perdido casi del todo a principios del siglo XX.



Los medios de comunicación modernos, la existencia de estos foros, blogs, etc., son algunos de los factores que han favorecido un intercambio de información técnica muy especial. El otro factor primordial, lo han jugado los profesionales del sector, maestros cerveceros reconocidos en empresas de gran envergadura, que a menudo no sólo crearon y colaboran con los foros que acabo de mencionar, sino que se han sabido comunicar tanto con el sector universitario, para crear formaciones técnicas que enriquecen la calidad del producto, como con el sector de empresas del tipo PYME.
Esta suerte de intercambio de conocimientos que vivo cotidianamente en la Universidad de Sherbrooke, actualmente existe en otros establecimientos educativos en todo el mundo.
En el caso de Argentina, el inicio de la actividad cervecera artesanal, surge como heredero de un movimiento equivalente en los Estados Unidos.

Pasada la primera ola, e instalados ya los primeros ensayos de cervecerías, el surgimiento de los cerveceros caseros fue apoyado desde la Universidad de San Martín por el maestro cervecero Marcelo Cerdán.
En una suerte de coincidencia histórica, cada país tuvo como soporte un personaje similar. En España ha sucedido otro tanto gracias a la colaboración de Boris de Mesones, en Quebec tenemos a Michel Gauthier, en Estados Unidos tienen a Ray Daniels… En fin, gracias a la nobleza de estos "Gurúes Cerveceros", nos encontramos ante el escenario actual en el que las cervezas artesanales en algunos países, representan el 10% de las ventas de esta bebida.

Antes de los gurúes estuvieron los pioneros, y es a ellos a quienes les debemos el haber trabajado en momentos en los que no habían insumos, ni equipamientos disponibles; y la cerveza artesanal en sí misma, era una inversión de riesgo.
¿Por qué hablamos del trabajo de los pioneros y de los técnicos que reforzaron su trabajo como algo actual, si la cerveza es una bebida tan antigua?
Porque en algún momento, el concepto mismo de cerveza artesanal se perdió casi por completo. Durante décadas, la supremacía de las cervezas industrializadas copó el escenario mundial de esta bebida. Por todo esto, hoy vamos a hablar de su resurgimiento.

Historia (*Continuación de la conferencia*).

Vamos a hacer un pequeño vuelo histórico, para llegar lo más rápido posible a la etapa de las cervecerías industriales y a lo que ha ocurrido luego.
La actividad cervecera, como muchas otras, encontró las explicaciones científicas de los procesos ya conocidos, gracias a una suerte de deconstrucción hecha a posteriori. Se supone, que las primeras cervezas fueron producidas gracias a una combinación de ciertos accidentes (en el almacenado de granos y en la elaboración del pan), con el perfeccionamiento mediante ensayo y error de las técnicas utilizadas para elaborarla.
Desde la época de los antiguos egipcios, hasta el siglo XV, la cerveza fue cambiando paulatinamente. Los años posteriores a este siglo fueron decisivos para la existencia del producto que conocemos hoy en día. Entre los primeros cambios, las cepas de levaduras con las que era elaborada, fueron "domesticadas" y los "gruits", las hierbas con las que se le combinaba, le dieron su propio carácter y nombre en cada región.
Podemos decir que hubo dos grandes modificaciones que cambiaron el rumbo de esta historia: el hallazgo de la levadura Lager, y la introducción del lúpulo dentro del canon cervecero.
Hasta el siglo VIII, el lúpulo, si bien era utilizado en diversas preparaciones (en general medicinales); no era el ingrediente preferido, ni era utilizado en gran escala. De a poco, esta especie —*Humulus lupulus*— logra imponerse hasta ser verdaderamente indispensable. Existen documentos del siglo XI, donde las recetas de las mujeres cerveceras de la época —¡sí!, eran en general mujeres— mencionaban que su utilización garantizaba una mejor conservación de la cerveza. Se sabe que los monjes también lo utilizaban, pero a menudo, el secretismo de las recetas impidió que nos llegue bien documentada esta información. Hacia el siglo XII podemos decir que el lúpulo había desplazado completamente a los Gruits.

De todos modos, los Gruits siguen existiendo en algunas cervezas actuales, compartiendo su espacio en las recetas de cervezas de tipo belga junto al lúpulo. En efecto: el regaliz, el enebro, la salvia, el jengibre, la nuez moscada y el clavo de olor, nos siguen acompañando en nuestras cervezas más especiales; aunque casi no existieron durante el monopolio de la industrialización masiva.
¿Por qué el lúpulo es tan importante en esta historia?
Sin lúpulo, la cerveza es un producto de consumo interno de familias ricas y de abadías. La existencia del lúpulo, permite estabilizar el producto, y esa estabilidad permite el surgimiento de tabernas cerveceras y bares.
En 1516, la aún vigente "ley de la pureza", establece que las cervezas alemanas, para ser consideradas como tales, sólo deben contener agua, maltas —al principio sólo de cebada—, levadura y lúpulo. Esta ley documenta definitivamente la instalación del lúpulo como ingrediente esencial en las cervezas del norte de Europa.
La aceptación inglesa de este ingrediente se demoró algo más, ya que aún las cocciones puertas adentro, eran más habituales que los bares. En América, recién podemos encontrarlo a partir del siglo XVII, lo que nos muestra el paralelismo entre lúpulo, la estabilidad del producto, y la comercialización.
El otro factor determinante en el surgimiento de la cervecería como industria, lo dio el descubrimiento de la levadura Lager. Como curiosidad, vale decir que hace pocos meses, sabemos que la levadura Lager tiene un 50% de su DNA proveniente de una levadura salvaje que se encuentra en la corteza de la Lenga sudamericana (La levadura Eubayanus). El otro 50% del DNA de la levadura Lager, corresponde a la levadura Ale, que fue la utilizada hasta que la Lager hizo su aparición. Pero: ¿por qué la Lager?

Aunque el lúpulo permitió que las cervezas duraran más, estas diferían mucho entre una partida y la siguiente. Las únicas cervezas que poseían una calidad pareja, provenían de monasterios, en los que el ambiente donde se fermentaban las cervezas era muy especial. Las abundantes cocciones de los monjes, necesitaron de habitaciones especialmente acondicionadas para la fermentación. Hoy sabemos que esos ambientes, conservan en sus muebles, techos y paredes, la suficiente biomasa como para garantizar la homogeneidad de la cepa dominante sobre otros microorganismos indeseables.

Hasta las levaduras salvajes utilizadas por estos monjes, ya tienen asentado su propio ecohábitat. En la Alemania medieval había unas 400 cervecerías monacales. Mientras tanto, en los bares y fábricas, la calidad de las cervezas era más dispareja. Todo cambió cuando a los maestros cerveceros de la actual fábrica Carlsberg en Dinamarca, se les ocurrió jugar con el factor temperatura.
Así descubrieron que trabajando a temperaturas frías, la calidad de las cervezas mejoraba. Aunque no conocieran las razones técnicas de este éxito, podían verificar que las contaminaciones y sabores indeseados eran menos abundantes.
Dado el reciente descubrimiento de la Eubayanus (pariente tanto de las ya conocidas Bayanus, como de la Ale), no podemos saber si esas primeras cervezas en frío eran verdaderamente Lagers (Los primeros barcos que viajaron entre la Patagonia y Europa lo hicieron a principios del siglo XVI), o si eran Ale resistentes al frío que luego fueron reemplazadas por las Lagers.
La otra opción, que fueran genuinamente lagers, requiere de otro ecohábitat donde también exista la Eubayanus que aun no hemos descubierto.
¡Volvamos a la industria!
Las fábricas alemanas lograron producir una cerveza durable gracias al lúpulo, y de una calidad pareja gracias al frío y a la adopción de las cepas lager danesas. El problema era, que tanto para transportar cervezas a grutas frías, como para transportar hielo, o más adelante para instalar bancos de frío, se requería de una tecnología y/o una logística realmente muy cara para la época. Esto implicó, que fueran las empresas alemanas las que volcaran grandes capitales a la industria cervecera; estas se impusieron a los bares cerveceros y a las fábricas artesanales. Por suerte para los bares ingleses, franceses, etc., el modo alemán de concebir la comercialización de la cerveza, recién llegó al resto del mundo durante el siglo XIX.
El tema de Inglaterra y sus cervezas, el modo en que se las ingeniaron los pubs ingleses por sobrevivir un par de siglos más sin lúpulos y sin lagers, y su batalla contra las grandes industrias, da para que tuviéramos una charla exclusiva sobre ese tema. Así que vamos dejando aquí el repaso histórico, y nos centraremos de nuevo sobre la hegemonía de las cervezas "comerciales".

El mapa cervecero de fines del siglo XIX y principios del XX, nos muestra grandes fábricas, algunas abadías cerveceras, y algunas fábricas regionales supervivientes. La etapa del embotellado masivo y la logística moderna, todavía no había hecho su aparición. Los bares recibían la cerveza en barriles y la vendían para consumir allí mismo. Era la época en la que nuestros bisabuelos se llevaban su cerveza a casa en baldes y garrafas.
Hay que tomar en cuenta, que para comienzos del siglo XX, el dominar del mercado estadounidense, diferenciaba a las marcas locales de las de proyección internacional. Tanto en Norteamérica como en Sudamérica, Europa o Australia, las cervezas vendidas eran mayoritariamente lagers comerciales, pero las pequeñas empresas aún existían.
En ese momento se dan dos hechos diferenciados geográficamente, pero que fueron sinérgicos en su efecto global: Mientras Europa se recuperaba de la Primera Guerra Mundial y ya se gestaba la segunda, en los Estados Unidos se imponía la ley seca.
A la salida de estos eventos, las pequeñas empresas estaban totalmente desmanteladas, y fueron los grandes capitales los que reinstalaron rápidamente las fábricas, imponiendo el estilo "lager liviana". El consumidor se acostumbró a llamar a eso cerveza, y el recuerdo de los otros estilos, quedó reservado para quienes habían vivido una generación antes. Una vez más la excepción pueden haber sido algunas empresas inglesas y las abadías belgas que aún quedaban como productoras.
Mientras tanto en Sudamérica la asimilación de las chicas por las grandes marcas se demoró hasta los años 40 o 50. Algunas de las marcas que conocemos hoy en día, fueron adquiridas por las grandes empresas, y a menudo sus recetas fueron modificadas para adaptarlas a los cánones cerveceros impuestos al gran público.

Para los años 60 o 70, los estilos clásicos de cervezas ya no eran recordados, y la corriente impuesta parecía ser la definitiva. En esos momentos, en Estados Unidos surgió un pequeño grupo de pioneros que realizó una especie de gesta de recuperación de la historia de la cerveza. No se trató de nada oficial, sino simplemente del trabajo conjunto de cuatro o cinco admiradores de los viejos estilos europeos que ansiaban producirlos nuevamente.

El primero de ellos fue Jack Mc Auliffe. En Sonoma, en la California de los años 70, improvisando equipos y reconstruyendo recetas, Jack inició la “New Albion Brewing Company”. Jack estuvo con la marina estadounidense en Escocia y ansiaba producir esos estilos en USA. Para ello fue a consultar a la Universidad de California en Davis, y se encontró con un profesor universitario corajudo “Michael Lewis”. Lewis le facilitó los conocimientos teóricos necesarios para lanzar un producto de buena calidad. Un profesor universitario dándole información a un marinero inventivo. De esta manera se inicia un retorno a las fuentes que fue seguido en todo el mundo, y cuyas proyecciones permanecen hoy en día. Fue el mismo profesor Lewis quien asistió a Ken Grossman en las etapas tempranas de la Sierra Nevada Brewing Company. Tanto Mc Auliffe como Grossman, utilizaron la biblioteca de la universidad para recuperar los conocimientos perdidos. Lamentablemente la cervecería de Jack quebró poco tiempo después; tal como muchos otros intentos de esos tiempos. Jack intentó montar un equipo siguiendo los esquemas de los equipos alemanes del siglo XIX: sin bombas de transferencia de mostos, sin controles automatizados; y en definitiva, limitado por su capital, Jack y su New Albion Brewery no lograron sobrevivir en un ambiente muy competitivo, y con un público que prefería claramente a las lager livianas. Al mismo tiempo que Jack Mc Auliffe reinventaba la cervecería artesanal, Fritz Maytag rescataba de la quiebra a la cervecería de su barrio. La Anchor Brewing Company era una cervecería de fines del siglo XIX que intentó resurgir luego de la ley seca mediante sucesivos cambios de dueño. Fritz Maytag la salvó de la quiebra, y gracias a su inversión logró mudarla a un mejor lugar y reinvertir en sus instalaciones. Poco tiempo después Maytag realiza una tarea digna de un antropólogo. Viaja a Egipto, a Finlandia, y a cuanto lugar en el mundo pudiera enseñarle sobre los orígenes de la cerveza. Maytag recupera del olvido los estilos clásicos africanos, asiáticos y europeos. Logra llevar adelante lo que Jack Mc Auliffe no logró: regresar a las fuentes y ser lucrativo a la vez.
El trabajo de Maytag, fue continuado por los mencionados Ken Grossman en Sierra Nevada, el armenio Charlie Papazian, Jackson con sus libros y sus atelieres, y finalmente Palmer con su “How to Brew” y Daniels con su “Designing Great Beers”.
El éxito de lo sucedido en California alentó a otros profesores como Mr. Lewis y a otros maestros cerveceros a enseñar lo que sabían a los artesanos que intentaban lo mismo en sus países. Así llegamos hasta el presente donde es imposible separar la labor de las universidades de aquella de los maestros cerveceros, y del empuje de los cerveceros caseros en el éxito de las cervecerías artesanales.

Los medios de comunicación modernos han hecho que la difusión del conocimiento sea enorme, y que las mejores cervezas de cada país, sean admiradas y copiadas en el otro extremo del mundo, como así también las enseñanzas de los “Gurúes Generosos”, que ya no se limitan a su región, sino que adquieren alcance mundial.
Hay un film documental estadounidense: War of Beer, donde algunas empresas exitosas del sector artesanal (Sierra Nevada, Dogfish, Samuel Adams), relatan lo difícil que les resulta distribuir sus productos en un medio corporativo. En tiempos de ese documental, las cervezas artesanales representaban el 5% del mercado norteamericano. Ahora, ya están llegando al 10%. Lo mismo sucede, aunque aún en menor escala, en Europa y Latinoamérica.
Imaginen que eso sucede con empresas que por su porte tienen una gran capacidad de inversión. La presión de las corporativas cerveceras sobre las empresas que recién comienzan, suele ser suficiente para sofocar muchos proyectos.
En Quebec, donde vivo, las leyes favorecen claramente a las empresas dominantes, y prohíben a las microcervecerías que no tengan “la fábrica en otro sitio que el bar”, vender cerveza para llevar en “Growlers”, y ni siquiera en barriles para que sean vendidas en otros restaurantes.
En Quebec, las universidades recibieron hace dos años una advertencia para prohibir las fermentaciones en medios universitarios. Por suerte, los estudiantes y sus profesores son creativos; sólo maceran mostos, y son los estudiantes quienes fermentan las cervezas en sus casas como cerveceros caseros.

El auge de las cervecerías artesanales y los intentos de detenerlas, se asemejan a la lucha entre las editoriales de periódicos y la hegemonía de los blogs. Un nuevo equilibrio se manifiesta, y la sociedad se está acomodando de a poco a esta realidad.

CAPÍTULO 1
PROCESO DE PRODUCCIÓN

Enrique Marcet., Manuel Medell

CAPÍTULO 1. PROCESO DE PRODUCCIÓN

Etapas y detalles del proceso de producción de cerveza.

1.0 Especificaciones de las materias primas del proceso de producción de cerveza.

1.1 Agua

Realizar un análisis riguroso del agua que utilizamos para elaborar nuestra cerveza tiene un costo elevado y en el caso de utilizar agua de la red, es necesario solicitar a la empresa prestadora del servicio un protocolo completo donde contenga la información de máximos y mínimos de su composición. Estos valores son fijados por el ente gubernamental que tiene a su cargo el control.

Una vez garantizados los parámetros de potabilidad, algunas características del agua que pueden incidir en el sabor de la cerveza son los siguientes:

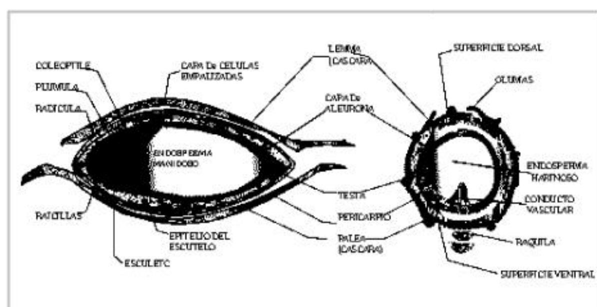
Dureza: Hasta un valor máximo de 170 ppm se pueden hacer todas las cervezas, pero lo más conveniente es utilizar aguas blandas para las cervezas tipo Pilsen y aguas duras para la tipo Ale.

Cloro: Por lo general el agua de la red contiene cloro, por esta razón es necesario declorarla de tal manera que se elimine por completo. Esto se lleva a cabo por evaporación del cloro, ya sea por calentamiento o simple reposo.

Acidez: El agua a usar debe tener un pH neutro; esto son valores en el PH – metro entre 7 y 8, sin embargo, si el agua usada es el agua de red, no se tendrían problemas pues sus valores de pH están entre 6.5 y 8.

1.2 Cebada *Hordeum vulgare*.

La cebada es un cereal de los conocidos como *cereal de invierno*, se cosecha en primavera (mayo o junio, en el hemisferio norte) y generalmente su distribución es similar a la del trigo. Se distinguen dos tipos de cebadas: la cebada *de dos carreras o tremesina*, y la cebada *de 6 carreras o castellana*. La tremesina es la que mejor actitud cervecera presenta. La cebada crece bien en suelos drenados, que no necesitan ser tan fértiles como los dedicados al trigo.



La raíz de la planta es fasciculada y en ella se pueden identificar raíces primarias y secundarias. Las raíces primarias se forman por el crecimiento de la radícula y desaparecen en la planta adulta, época en la cual se desarrollan las raíces secundarias desde la base del tallo, con diversas ramificaciones. El tallo de la cebada es una caña hueca que presenta de siete a ocho entrenudos, separados por diafragmas nudosos. Los entrenudos son más largos a medida que el tallo crece desde la región basal. El número de tallos en cada planta es variable, y cada uno de ellos presenta una espiga.

Las hojas están conformadas por la vaina basal y la lámina, las cuales están unidas por la lígula y presentan dos prolongaciones membranosas llamadas aurículas. Las hojas se encuentran insertadas a los nudos del tallo por un collar o pulvinus, que es un abultamiento en la base de la hoja.

Su espiga es la inflorescencia de la planta; se considera una prolongación del tallo, la cual es similar a la de las demás plantas gramíneas, y presenta reducción del periantio. La función protectora la desempeñan las glumas y las páleas.

El grano es de forma ahusada, más grueso en el centro y disminuyendo hacia los extremos. La cáscara (en los tipos vestidos) protege el grano contra los depredadores y es de utilidad en los procesos de malteado y cervecería; representa un 13% del peso del grano, oscilando de acuerdo al tipo, variedad del grano y latitud de plantación.
La cebada está representada principalmente por dos especies cultivadas: Hordeum distichon, que se emplea para la elaboración de la cerveza, y Hordeum hexastichon, que se usa como forraje para alimentación animal; ambas especies se pueden agrupar bajo el nombre de Hordeum vulgare subsp. vulgare.
En algunos países del Cercano Oriente, del norte de Europa (como Finlandia), y de América del Sur (como Colombia y Ecuador) aún se utiliza como alimento para consumo humano. Sin embargo, es mucho más utilizada en el malteado y obtención de mostos para la elaboración de la cerveza y para destilar en la fabricación de whisky escocés y de ginebra holandesa. Existe una parte del pan que se elabora con cereal: pan de cebada (denominado a veces "pan negro"). Otra pequeña proporción se destina para la alimentación animal, particularmente de cerdos. Se elaboran bebidas no alcohólicas o ligeramente alcohólicas, como el kvas y el agua de cebada.

Definición de cereales adjuntos:

Es la denominación que se le da a cualquier componente rico en almidones (generalmente cereales) o en azúcares que se utiliza para la fabricación de cerveza. Aprovechando el exceso de actividad enzimática de la malta, se agregan almidones aportados por otros cereales, los más utilizados son el arroz y el maíz.
Si bien la actividad enzimática de cada malta es diferente, como regla general se puede tomar un máximo de 30% de cereales adjuntos. Para utilizarlos se debe realizar una gelatinización que se consigue hirviendo los cereales por un tiempo de una hora previa a la maceración con la malta. También se pueden agregar adjuntos ricos en azúcares durante el hervido, como azúcar blanca (de caña) o miel.

1.3 Trigo *Triticum.*



Trigo (*Triticum* spp) es el término que designa al conjunto de cereales, tanto cultivados como silvestres, que pertenecen al género *Triticum*; son plantas anuales de la familia de las gramíneas, ampliamente cultivadas en todo el mundo. La palabra trigo designa tanto a la planta como a sus semillas comestibles, tal y como ocurre con los nombres de otros cereales.
El trigo (de color amarillo) es uno de los tres granos más ampliamente producidos globalmente, junto al maíz y el arroz, y el más ampliamente consumido por el hombre en la civilización occidental desde la antigüedad. El grano del trigo es utilizado para hacer harina, harina integral, sémola, cerveza y una gran variedad de productos alimenticios.
La palabra «trigo» proviene del vocablo latino *triticum*, que significa 'quebrado', 'triturado' o 'trillado', haciendo referencia a la actividad que se debe realizar para separar el grano de trigo de la cascarilla que lo recubre. *Triticum* significa, por lo tanto, *el grano que es necesario trillar para poder ser consumido*; tal como el mijo deriva del latín *milium*, que significa "molido, molturado", o sea, *el grano que es necesario moler para poder ser consumido*. El trigo (*triticum*) es, por lo tanto, una de las palabras más ancestrales para denominar a los cereales (las que se referían a su trituración o molturación).

El trigo crece en ambientes con las siguientes características:
Clima: temperatura mínima de 3 °C y máxima de 30 a 33 °C, siendo una temperatura óptima entre 10 y 25 °C.

Humedad: requiere una humedad relativa entre 40 y 70%; desde el espigamiento hasta la cosecha es la época que tiene mayores requerimientos en este aspecto, ya que exige una humedad relativa entre el 50 y 60% y un clima seco para su maduración.
Agua: tiene unos bajos requerimientos de agua, ya que se puede cultivar en zonas donde caen precipitaciones entre 25 y 2800 mm anuales de agua, aunque un 75% del trigo crece entre los 375 y 800 mm. La cantidad óptima es de 400-500 mm/ciclo.
Suelo: los mejores suelos para su crecimiento deben ser sueltos, profundos, fértiles y libres de inundaciones, y deben tener un pH entre 6,0 y 7,5; en terrenos muy ácidos es difícil lograr un adecuado crecimiento.
La siembra en cultivos rotativos de trigo ayuda a mejorar la estructura de los mismos, y les proporciona mayor aireación, permeabilidad y retención de humedad.

El trigo sin maltear es muy usado en la elaboración de cerveza. Brinda sabor a grano crudo y un aspecto turbio, característico de la cerveza belga blanca. Precisa un macerado escalonado con escalones a 50 °C (*β-glucanos*), 60 °C (*β-amilasa*) y 70 °C (*α-amilasa*). Su temperatura de gelatinización es más baja que la cebada, por lo que puede ser añadido directamente al macerado. El almidón del trigo es de alto rendimiento en extracto y contenido graso bajo. Aporta al medio una cantidad de proteína similar a la de la cebada, aunque el efecto en la estabilidad final de la cerveza no es tan bueno.

1.4 Maíz *Zea mays.*



El maíz (*Zea mays*) es una especie de gramínea anual originaria de América e introducida en Europa en el siglo XVII. Actualmente, es el cereal con el mayor volumen de producción a nivel mundial, superando incluso al trigo y al arroz.
A mediados de la década de 1950, en excavaciones próximas a la ciudad de México, se encontraron muestras de polen de maíz con una antigüedad de entre 60 y 80.000 años de edad, lo que nos da una idea del largo recorrido de la especie en las culturas del Nuevo Continente.
No se conoce con exactitud el origen geográfico concreto del maíz dentro del continente americano. Sin embargo, habiéndose extendido por todo el continente, evolucionó de manera diferente en cada zona y de forma paralela al desarrollo de las civilizaciones indígenas, dando lugar a especies y cultivares propios de cada zona y cultura. Por ejemplo, los maíces dentados de América central están asociados a la cultura maya, mientras que los maíces cónicos se relacionan con la civilización azteca. De igual forma, aunque más tardíamente, los maíces *flint* y los catetos amarillos, anaranjados o colorados se asocian a Brasil y Argentina. Así, se han registrado hasta 300 variedades diferentes.
El maíz fue una de las especies importadas a Europa tras el descubrimiento de América.

En Galicia y en la cornisa Cantábrica el maíz se adaptó muy bien a la climatología y dado el alto rendimiento de estos cultivos su explotación se fue extendiendo hacia toda Europa. Esta temprana adopción, muy probablemente, fue debida a su semejanza con los cereales europeos, a diferencia de otras plantas, como la patata, que eran más extrañas y hasta sospechosas. Sin embargo no fue importante para la alimentación de los europeos hasta bien entrado el siglo XIX.
Podemos decir que el cultivo del maíz fue causa y consecuencia de la Revolución industrial en la agricultura: el maíz aumentó el rendimiento de la superficie cultivada y permitió la estabulación de los animales, que empezaron a ser alimentados con piensos, mientras producían el estiércol necesario para abonar los cultivos.

El maíz constituyó desde entonces una parte muy importante de la dieta tanto humana como animal en Europa. Sin embargo, en los estratos más bajos de la sociedad Europea de la época, la dieta se empobreció en cuanto a variedad y el maíz pasó a ser la base fundamental de la dieta, lo que incrementó los casos pelagra.
Los fabricantes de cerveza emplean el maíz en dos formatos principales: sémola o en copos. El maíz molido es un adjunto muy empleado por los cerveceros comerciales en Estados Unidos e Inglaterra. La sémola requiere un *hervido aparte,* como se hace con el arroz. Los copos de maíz se pueden añadir directamente al macerado (triturados o intactos).

1.5 Arroz *Oryza sativa.*

El arroz es la semilla de la planta Oryza sativa. Se trata de un cereal considerado alimento básico en muchas culturas culinarias (en especial la cocina asiática), así como en algunas partes de América Latina.



El arroz es el segundo cereal más producido en el mundo, tras el maíz. Debido a que este se produce con muchos otros propósitos aparte del consumo humano, se puede decir que es el arroz el cereal más importante en la alimentación humana y que contribuye de forma muy efectiva al aporte calórico de la dieta humana actual; es fuente de una quinta parte de las calorías consumidas en el mundo. Desde 2008, se ha realizado un racionamiento en algunos países debido a la carestía de arroz. En países como Bangladés y Camboya puede llegar a representar casi las tres cuartas partes de la alimentación de la población. Se dedican muchas hectáreas al cultivo del arroz en el mundo. Su origen es objeto de controversia entre los investigadores; se discute si fue en China o en India.

Categorías por color – aroma – tacto.
Arroz glutinoso: Es un arroz adherente después de la cocción y los granos permanecen unidos. Necesita poca cantidad de agua y tiende a desintegrarse si se cocina demasiado. Se emplea en la elaboración de platos dulces a base de arroz en Asia.
Arroz aromático: Es un grupo de arroces de grano largo/medio que se caracteriza por poseer aroma debido a la concentración de compuestos volátiles. Abarca la mayoría de los arroces de la India y Pakistán denominados basmati (fragante, en idioma urdú), los arroces jazmín.
Arroz pigmentado: Arroces cuyo salvado posee pigmentos en forma de antocianinas que le confieren colores tales como púrpura o rojo. En este tipo de arroces, cuando el salvado se elimina del grano, el color desaparece.

El arroz, es de los primeros adjuntos macerables usados en la elaboración de cerveza. Es un alimento básico para casi la mitad de la población mundial y se presenta en muchas variedades (no aromáticas: *empleadas como adjunto en la fabricación cerveza*). El arroz tiene una temperatura de gelatinización elevada, y tiene que hervirse antes de emplearlo en la producción de cerveza. El arroz tiene el contenido de almidón más elevado de todos los cereales, pudiendo alcanzar rendimientos de hasta el 90%.

1.6 Lúpulo *Humulus lupulus*



El lúpulo (*Humulus lupulus*), es una de las tres especies de plantas del género *humulus*, de la familia de las Cannabáceas. Oriunda de Europa, Asia occidental y Norteamérica.
Aunque frecuentemente se considera trepadora, no posee zarcillos ni ningún otro apéndice para este propósito, sino que se sirve de robustos tallos provistos de rígidas vellosidades inclinadas abajo. Es una herbácea perenne que puede alcanzar ocho metros de altura, con hojas palmato-lobuladas de 3 a 5 lóbulos dentados. Siendo una especie dioica, las flores femeninas y masculinas surgen en plantas separadas, las primeras, de color verde claro, se reúnen en amentos y son usadas como saborizante y agente estabilizador en la cerveza, las masculinas, amarillo verdosas, forman panículas. El fruto se denomina aquenio.

El ácido del lúpulo (ácidos α) tiene un suave efecto antibiótico contra las bacterias Gram positivas, y favorece la actividad de la levadura de malteado.
Ya utilizado por los romanos hace 2000 años en la fabricación de la cerveza, actualmente, en la elaboración occidental, el aditivo principal que se utiliza para hacer de contrapeso (de equilibrante si se prefiere) al dulzor de la malta es el lúpulo (Humulus lupulus). De esta planta se utiliza la flor hembra sin fecundar. En la base de sus bracteólas, hay unas glándulas que contienen la lupulina, que es el ingrediente que aportará a la cerveza su sabor amargo y los aromas propios. Del amargor son responsables los ácidos amargos y los aromas proceden de aceites esenciales constituidos en especial por compuestos bastante volátiles y delicados a base de ésteres, y de resinas. Existen numerosas variedades botánicas del lúpulo que son objeto de investigaciones intensas. El lúpulo es la causa de la estimulación del apetito que produce la cerveza. Para su comprensión, también se clasifican en categorías:

Lúpulos amargos.
Estos lúpulos son los que aportan más elementos amargos que aromáticos. Los representantes más conocidos de esta categoría son el *brewer's gold* y el *northern brewer* o *nordbrauer*, aunque también existen especies más simples en aceites aromáticos pero que aportan un gran amargor como es el *cascade*.

Lúpulos aromáticos.
Lógicamente, éstos aportan más elementos aromáticos que amargos. En este apartado se conocen especialmente el *saaz/zatec* que definen el estilo pilsener de cerveza, el *spalt*, el *tettnanger* y el *hallertauer* en el área alemana, y los *kent goldings* y *fuggles* en el área anglófona.

Lúpulos mixtos.
Aportan ambas características juntas aunque menos acentuadas. Esta categoría es muy variable y mal definida. Deberíamos también citar el *hallertauer* y sobre todo sus derivados botánicos, así como el *hersbrucker* y sus derivados.
El lúpulo es muy delicado, solamente se puede utilizar fresco durante los pocos meses de su cosecha, que coincide con la de la viña: finales de agosto a octubre (del hemisferio norte) según las variedades y el sitio. Fuera de este intervalo temporal se tiene que condicionar, de manera que el mercado presenta diversas formas que van desde el lúpulo deshidratado hasta extracto de lúpulo. Lógicamente, en cada manipulación se van perdiendo características y no es lo mismo utilizar un lúpulo fresco o congelado que un aceite de concentrado de lúpulo. El efecto organoléptico sobre la cerveza es muy diferente. La variedad y el frescor del lúpulo influyen sensiblemente en la calidad final de la cerveza. Las formas de uso son en extracto, "pellet" o en polvo; aunque la forma más habitual es en pellet que con un buen acondicionamiento frigorífico conserva muy bien sus ácidos alfa y sus aceites esenciales.

2.0 Etapas del proceso de elaboración.

Breve resumen teórico del proceso de elaboración de cerveza.

2.1 - Malteo de granos.

El malteo de los granos en la producción de cerveza.



Los cereales son malteados para obtener las enzimas necesarias que durante el proceso de maceración serán usadas para transformar los almidones (contenidos en los granos) en la mayor cantidad posible de azúcares. Durante el proceso de malteado, en el interior del grano ocurre la biosíntesis de enzimas como la β-amilasa y **α**-amilasa. El paquete enzimático biosintetizado hace posible la transformación de los almidones del grano en azúcares más simples. Estos azúcares simples, naturalmente funcionan como fuente de alimentación para el grano, hasta que este pueda fotosintetizar su propio alimento.

El *malteo,* consiste en someter a los granos de cereal a un proceso de germinación controlada, y dependiendo del grano, la temperatura y los niveles de humedad, variará el tiempo del proceso. La germinación debe ser detenida una vez que comience a "brotar" la planta. Luego, los granos germinados se secan en hornos, y dependiendo de *la temperatura y el tiempo* de secado, se obtendrán maltas pálidas, caramelizadas o tostadas.

2.2 - Molienda de granos.

Breve introducción a la molienda de granos.

La molienda de los granos, es el proceso de molido de los cereales bajo condiciones especiales que permiten moler estos en gránulos muy pequeños, sin llegar a convertirlos en harina, conservando a su vez, la cáscara de los granos lo más intacta posible. La cáscara servirá posteriormente como *elemento filtrante*.

La forma ideal para moler estos granos, es por medio de dos rodillos girando a diferentes velocidades y separados entre sí aproximadamente un milímetro. Los granos pasarán por el medio y serán crujidos y desgarrados al mismo tiempo, separando la cáscara y reduciendo en pequeños gránulos el interior del los mismos.

Resultado de la molienda	Composición
Cáscara	30 %
Grano grueso	10 %
Grano fino	30 %
Harina	30 %

2.3 - Maceración.

La maceración en el proceso de elaboración de cerveza.

Es el proceso de mezclar los cereales malteados molidos con agua y mantenerlos a la temperatura óptima de las enzimas por períodos de tiempo necesarios. Durante la maceración, el aumento de la temperatura extrae los almidones de los granos molidos. El paquete enzimático que se encuentra en el interior del grano comienza a actuar sobre estos almidones transformándolos en azúcares simples (principalmente)

Las enzimas del grano poseen diferentes funciones y temperaturas óptimas, es por ello que cuando se desea aprovechar la funcionalidad de una enzima, se sitúa el valor de la temperatura en el intervalo óptimo.

Según el estilo de cerveza, las temperaturas y tiempos de maceración son diferentes. El más sencillo consiste en mezclar los granos triturados con agua a 65ºC y se mantenerlos a dicha temperatura durante aproximadamente dos horas.

2.4 – Filtración en tacho.

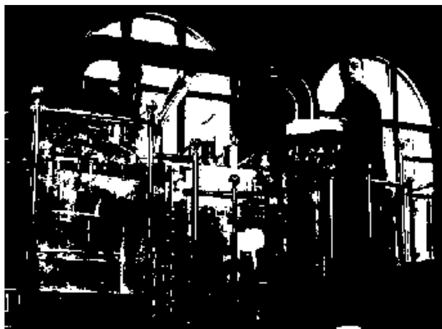
Detalles sobre el proceso de filtración en tacho.

Es la separación del líquido resultante de la maceración (mosto que contiene los azúcares de los cereales disueltos), de los restos de los granos, como las cáscaras y fibras. Hay varios tipos de filtros, pero el más tradicional, es el de la cuba de maceración que dispone de un suelo doble; el superior está lleno de pequeños agujeros de aproximadamente 2,5 mm.

Tras realizar la maceración, se deja reposar la mezcla durante unos 20 minutos, para que las cáscaras de los granos se depositen en el fondo y sirvan de filtro. Una vez pasado el tiempo, se abre el grifo de la cuba; este está en el fondo, debajo del doble suelo. Una vez que el 85% ( ) del mosto salga completamente, se añade agua suficiente a 79ºC. Este paso se realiza para lavar hasta el último vestigio de azúcar de los granos y cáscaras.

2.5 - Hervor (cocción) y adición de lúpulo.

Proceso de hervor y adición de lúpulo.



El mosto ha de hervirse aproximadamente dos horas; la cocción se realiza por diversos motivos. Los principales son: para su *esterilización*, para *coagular las proteínas* y poder eliminarlas posteriormente, y para *obtener el amargor y los aromas* del lúpulo.

El lúpulo sirve para dar amargor y aroma a la cerveza. Si se añade al principio de la cocción, dará sólo amargor, porque *los aromas se volatilizarán* con el transcurso de la cocción. Si se añade al final, sólo dará aroma y no amargor, porque para obtener amargor se necesita que se *isomericen los α-ácidos del lúpulo* mediante cocción prolongada. Es por ello que los cerveceros realizan varias adiciones de lúpulo, para lograr la combinación deseada entre aromas y amargor. En muchos casos se realiza una primera adición de lúpulo al principio de la cocción, para obtener el amargor, y otra adición entre los 5-15 minutos finales de la cocción para obtener los aromas del lúpulo. La cocción ha de ser a 100ºC, es decir, ha de verse como el mosto entra en movimiento por el efecto de las turbulencias de las burbujas.

2.6 - Filtración del mosto.

La filtración del mostro tras el hervor: por centrifugación
o usando las flores del lúpulo.

Una vez cocido el mosto, se espera unos 20 minutos para *precipiten las proteínas coaguladas* y los restos de lúpulo. Hay dos sistemas de filtración, uno *por centrifugación* y otro que usa las mismas *flores del lúpulo* como elemento filtrante. La centrifugación crea el mismo efecto que ocurre al remover una cucharilla en una taza de café, los restos del café se depositan en el centro. Este método se usa a nivel industrial y permite el uso de lúpulos molidos o extractos de este. El método más común y asequible, es el de usar directamente flores enteras de lúpulo, que al depositarse en el fondo al final de la cocción, servirán como *elemento filtrante* de las proteínas coaguladas.

2.7 - Refrigeración y oxigenación.

Refrigeración y oxigenación pre-fermentación.

El mosto cocido y recién filtrado ha de enfriarse en un período no superior a 60 minutos hasta alcanzar la temperatura ideal para poder añadir la levadura. Según el tipo de levadura que se vaya a utilizar se situará entre 8º y 23 ºC.
Si no se enfría en este período, corremos el peligro de infecciones bacteriológicas y de que se produzca un nivel superior de dimetilsulfuro no deseado (*ver dimetilsulfuro*), que impartirá a la cerveza un sabor a verduras cocidas (no deseable). Cocciones por debajo de dos horas, también pueden producir este efecto. La cocción elimina todo el oxígeno disuelto en el mosto. El mosto habrá de ser oxigenado antes de añadir la levadura, esta oxigenación se puede realizar *inyectando oxígeno o aire estéril en el mosto*, o simplemente dejando caer al mosto por gravedad, provocando la formación de burbujas de aire en el tanque de fermentación.

Dimetilsulfuro: [Ref: La Mansión del Cervecero. Ficha Defectos 0732, Dimetilsulfuro (DMS). Disponible en: http//www.lamansiondelcervecero.com]

Análisis: Cromatografía de gases   Umbral de Sabor aproximado: 25 [g/L]
Concentración típica en la cerveza: 10 a 150 [g/L].

El componente sulfuroso menos deseado, producido durante la elaboración de la cerveza desde el comienzo del malteado de la cebada, es el dimetilo de sulfuro (DMS). Es clásico en cervezas lagers, especialmente en las industriales. Es un compuesto que está presente en las maltas base y se percibe en nariz y en boca como aromas a sopas o verduras cocidas, como el maíz. Ambas sensaciones son percibidas en concentraciones extremadamente bajas. En altas concentraciones lo podemos advertir como un olor azufrado o a gas. Se produce por una baja tasa de evaporación en el hervor, o bien por mostos con alto porcentaje de adjuntos. Este sabor es deseable en algunas lagers. Se percibe como un sabor a verdura cocida como col, maíz o tomate y puede no cuadrar en el estilo de la cerveza. Es una parte del proceso de cocción de la cerveza y normalmente es eliminado durante el hervido, por lo que es necesario mantener la olla de hervido destapada durante este proceso para evitar que el DMS condense en la tapa y vuelva a caer al mosto. La malta contiene compuestos que se transforman en DMS.

Se produce durante la cocción del mosto con la transformación de la S-metil-metionina (SMM), que es otro compuesto producido durante el malteo. El tostado de las maltas reduce los niveles de SMM evitando la formación de DMS luego en el mosto. Es por eso que se percibe más en las Lagers pálidas. Puede ser causado por deficiencias en el proceso de elaboración. Durante el hervido el mosto produce continuamente DMS y se remueve normalmente por evaporación. Cuando el mosto es enfriado lentamente no se pueden remover estos compuestos y entonces se disuelven nuevamente en el mismo

perdurando en nuestra cerveza. También puede ser causado por infección bacteriana. El DMS que se genera de esta manera es más rancio, más parecido a la coliflor que al maíz. Imparte un sabor a verduras cocidas nada agradable y muy común en cervezas baratas producidas por fábricas industriales con afán de reducción de costes de producción. Estos componentes, ya en pequeñas concentraciones, imparten aromas y sabores muy fuertes. La falta de nutrientes para la levadura en el mosto provoca también la formación de estos componentes sulfurosos. El mosto debe ser enfriado rápidamente después del hervido, ya sea por inmersión en una bañera con hielo o por el uso de un serpentín o intercambiador de calor.

Posible solución:
Hervir de manera vigorosa y con el recipiente destapado para permitir que este se evapore (DMS). Enfriar rápidamente el mosto antes del agregado de la levadura. Mantener una limpieza adecuada, una bacteria puede formar DMS. Usar una levadura activa y pura. (ver anexos)

2.8 - Fermentación.

Proceso de fermentación del mosto.

La levadura fermenta el mosto consumiendo el azúcar y produciendo en distintas proporciones, alcohol, dióxido de carbono y otros productos. Primero ocurre el *proceso de respiración*, donde la levadura consume únicamente el oxígeno contenido en el mosto para multiplicarse (aumenta la biomasa). Luego comienza la fermentación, donde a falta de oxígeno, empieza a consumir los azúcares fermentable (principalmente la maltosa). La situación ideal, es disponer de un mosto bien oxigenado para que la levadura se reproduzca lo máximo posible.
La fermentación se puede realizar a diferentes temperaturas según la cepa de levadura y el estilo de cerveza a elaborar. El *control de estas temperaturas* es esencial para conseguir cervezas de calidad. La duración de la fermentación depende de las temperaturas, de la concentración de azúcares, de la cantidad de oxígeno disuelto y del tipo de levadura utilizada; además de otras cuestiones. Algunas fábricas de cerveza, para reducir tiempos de producción, y con ello los costes de fabricación, aceleran las fermentaciones aumentando las temperaturas o usando aditivos. Al aumentar la temperatura, el proceso de fermentación aumenta su velocidad (relativo) pero produce mayor cantidad de subproductos y alcoholes superiores no deseados (estos alcoholes superiores, son los precursores de las resacas mañaneras). El efecto más peligroso de la adición de aditivos (como la *urea*), es que estos no se consuman en su totalidad durante la fermentación, y la cerveza final contenga partículas químicas no deseables que pudieran perjudicar la salud humana.

2.9 - Maduración y filtración en frío.

Breve análisis de los procesos de maduración y filtración.



Una vez fermentado el mosto, este pasa a ser llamado *cerveza verde*. Esta cerveza contiene todavía una serie de subproductos que provienen de la fermentación y que son eliminados durante la maduración. La *temperatura de maduración* suele situarse ligeramente por encima de los 0ºC. El tiempo de maduración varía mucho.

Una vez pasado este período de maduración, la cerveza se puede filtrar y carbonatar, o vender provocando una segunda fermentación en las botellas o barriles. La filtración en frío, es para eliminar la levadura que queda en suspensión y las proteínas que se han coagulado y se encuentran también en suspensión como resultado de reducir la temperatura durante la maduración. Cuanto más largo sea el período de maduración, menos materia habrá suspendida (*sedimentación por largos períodos a bajas temperaturas*) y más fácil será la filtración.

Una vez filtrada la cerveza se embarrila o embotella para su venta. La mayoría de las fábricas pasteurizan la cerveza para aumentar su estabilidad biológica (la pasteurización, a su vez, produce sabores a madera cocida no deseables).

2.10 – Propiedades físico-químicas de la cerveza.

Breve análisis de las propiedades físico-químicas de la cerveza.

Las características físico-químicas de la cerveza son los términos que se usan para definir los requerimientos de los cuerpos regulatorios o normativos. Sin embargo, como definición de la calidad de una cerveza, el análisis químico es ilimitado. Esta falta de límite se debe a que las técnicas analíticas modernas pueden medir miles de compuestos dentro de la cerveza, la mayoría de los cuales no tienen influencia reconocida en el sabor. Entre los parámetros más importantes de calidad se encuentran: formación de la espuma, estabilidad coloidal, amargor, color, turbidez, pH, grado alcohólico, etc.

La formación de espuma es uno de los factores más importantes en la evaluación de calidad que realizan los consumidores, ya que transmite la primera impresión del producto tan pronto es servido un vaso de cerveza. La espuma se forma por gases finamente repartidos en el líquido y materias sólidas, principalmente el CO_2. Está compuesta por un 21 % de proteínas de peso molecular medio, 19 % de proteínas de peso molecular bajo y 60 % de proteínas de peso molecular alto (15 000 a 40 000 Da), responsables de la estabilidad.

La determinación de estabilidad de la espuma se realiza a 20 °C, sensorialmente y utilizando un equipo llamado Formador de Espuma, de acuerdo con el principio de "NIBEM". Este se basa en la medición del tiempo (en segundos) en que el collar de espuma desciende 10, 20 y 30 mm. En el momento que la espuma ha descendido hasta 10 mm desde el borde del vaso, el temporizador del equipo se enciende de forma automática y el curso del tiempo en los próximos 30 mm se mide digitalmente. El sistema móvil de electrodos, reacciona debido a la diferencia de conductividad de la espuma, indicando el nivel de la misma.
El amargor es otro parámetro importante en la calidad de la cerveza. El nivel del tenor amargo de la cerveza se mide por medio de unidades internacionales de amargor (IBU del inglés; International Bitterness Units) o simplemente como BU. El IBU es una medida de concentración de los ácidos iso-alfa en partes por millón. Un IBU equivale a 1 mg de ácidos iso-alfa por L de cerveza. Para su determinación se transfirieren 10 mL de cerveza fría (10°C) carbonatada a un tubo centrífuga de 50 mL, donde las sustancias amargas fueron extraídas con 20 mL de iso-octano en un medio acidificado con 1 mL de HCl 3 N mediante centrifugación a una velocidad de 3500 rpm durante 15 minutos. Luego, se mide la absorbancia (A) de la fase orgánica (la capa de iso-octano) a 275 nm y se obtienen las unidades de amargor °BU empleando la fórmula:

$$°BU = 50 * A_{275}$$

El parámetro turbidez es un factor importante que influye en la aceptación por parte del consumidor, debido a que usualmente es asociada con calidad inferior. Las unidades de tiempo transcurridas hasta alcanzar un determinado nivel de turbidez definen la estabilidad de la cerveza. La pérdida de brillo, el descenso de la transparencia, el grado de enturbiamiento, incluso la floculación, precipitación y sedimentación, son las sucesivas manifestaciones visuales de la falta de estabilidad o inestabilidad de la cerveza.

En cuanto al pH se conoce que para cervezas tipo *lager* el rango fluctúa en 4,1 ± 0,2. Estas cervezas elaboradas con una mayor relación malta/adjuntos tienen un mayor pH que las cervezas elaboradas solamente de malta. El pH también depende del tipo de agua y su tratamiento con ácidos y/o sales de calcio. Un pH muy elevado es desfavorable para reacciones importantes como la sacarificación ya que provoca un trabajo deficiente de las enzimas generándose menos azúcares; la coagulación de proteínas durante la ebullición menos intensa; el amargor más astringente por mayor extracción de taninos

(polifenoles) desde la cáscara del grano en el proceso de maceración y filtración; mayor riesgo desde el punto de vista microbiológico.
Por otra parte, el proceso cervecero requiere del consumo de grandes cantidades de energía, principalmente en forma de vapor. Para conocer el consumo de este portador energético se requiere el valor del calor específico (Cp). El Cp es la relación que existe entre la capacidad térmica de un cuerpo y la capacidad térmica de igual masa de agua. El valor de la capacidad térmica depende de las temperaturas de la sustancia y del agua (usualmente T agua = 15°C). Cuando se trata de mezclas, para realizar el balance de energía se puede calcular para cada componente de forma independiente o de forma global si se tiene alguna forma de estimar el valor del Cp del producto, o se conocen valores experimentales del mismo.
Por tal motivo el Cp de la cerveza se ha determinado en la práctica por cerveceros, en función de su concentración en grados plato (ºP) como se informa en la siguiente tabla:

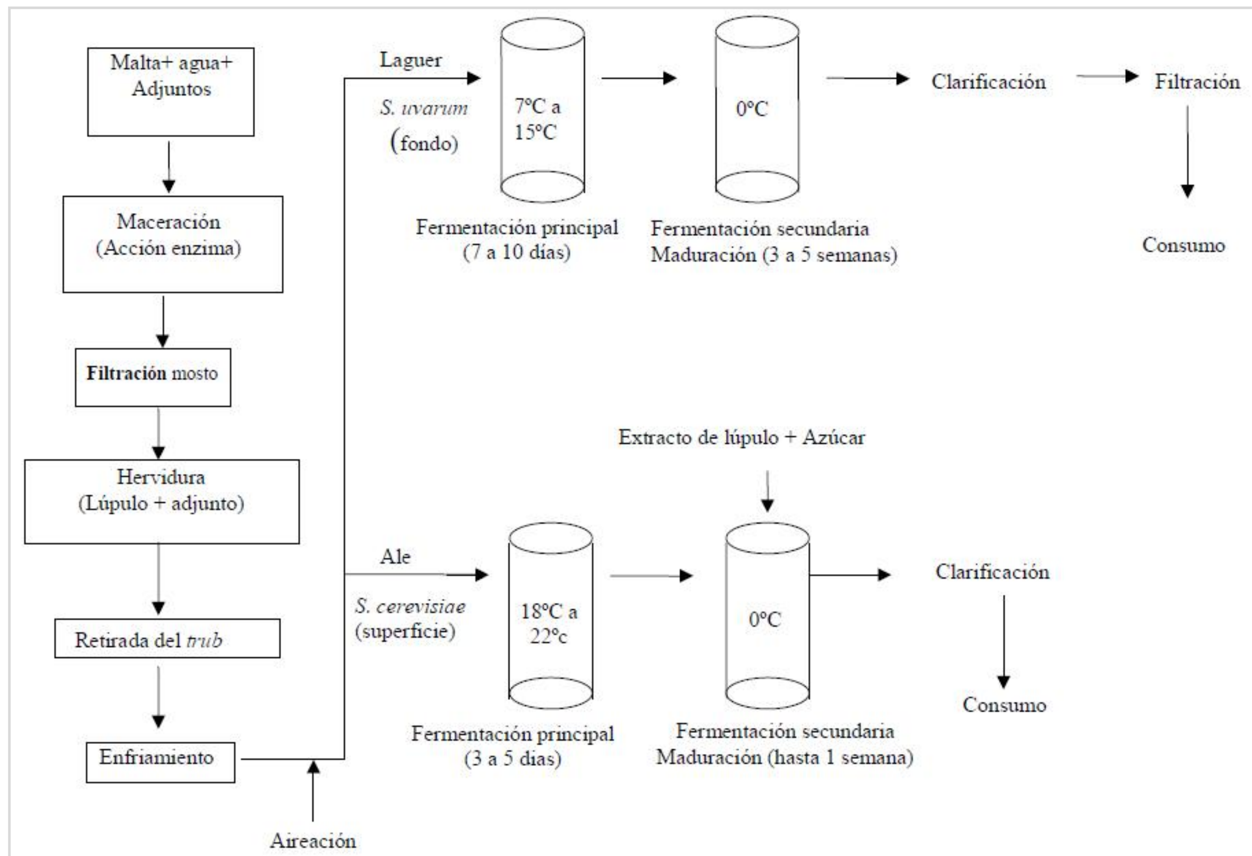
ºP	Cp (kJ/kg ºC)	ºP	Cp (kJ/kg ºC)
8	3.952	15	3.747
9	3.923	16	3.718
10	3.894	17	3.689
11	3.864	18	3.659
12	3.835	19	3.630
13	3.806	20	3.605
14	3.776	-	-

[Ref. Anaya, M. 2012. Tratamiento magnético como complemento tecnológico del proceso cervecero en la fábrica "Guido Pérez". Tesis en opción del grado académico de Máster en Ingeniería Alimentaria, ISPJAE.]

2.11 – Resumen del proceso tecnológico.

Resumen del proceso de producción de cerveza.

Elaboración del mosto en caliente	Procesos en frío
1. Limpieza de la malta	8. Enfriamiento e aireación
2. Molienda de la malta	9. Fermentación
3. Maceración	10. Reposo
4. Lavado de los restos de granos macerados	11. Clarificación
5. Hervor del mosto	12. Filtración
6. Separación del lúpulo	13. Carbonatación y envasado
7. Sedimentación	14. Almacenamiento



Procesamiento de los dos principales tipos de cerveza, Laguer y Ale.

Figura tomada de: Anaya, M. 2012. Tratamiento magnético como complemento tecnológico del proceso cervecero en la fábrica "Guido Pérez". Tesis en opción del grado académico de Máster en Ingeniería Alimentaria, ISPJAE.

Bibliografía de este capítulo:

1. Guinjoan, A. (2009). Elaboración de cerveza. Grupo de Investigación de Ingeniería Institucional.
2. Ruiz Camacho, Rubén (1981) Cultivo del Trigo y la Cebada. Temas de Orientación Agropecuaria, Bogotá.
3. Kent, Norman Leslie (1983) Technology of cereals: An introduction for students of food science and agriculture. Pergamon Press Ltd, Oxford.
4. Dendy, David & Dobraszczyk, Bogdan (2001) *Cereals and Cereal Products: Chemistry and Technology*. Kluver Academic Plenum Publishers, New York. ISBN 84-200-1022-7
5. Russell, I. 1998. *Yeast. Handbook of brewing*. New York: Marcel Dekker.
6. Almeida e Silva, J. B. 2005. *Capítulo 15: Cerveja. Tecnologia de Bebidas*. Editora Edgar Blücher Ltda., São Paulo, Brasil. ISBN 85-2120362-4.
7. Rodríguez, H. A. 2003. *Determinación de parámetros físico-químicos para la caracterización de cerveza tipo lager elaborada por Compañía Cervecera Kunstmann S.A.* Tesis presentada como parte de los requisitos para optar al grado de Licenciado en Ingeniería en Alimentos. Valdivia Chile.
8. Ružič, R.; Gogala, N.; Jerman, I. 1997. *Sinusoidal magnetic fields: effects on the growth and ergosterol content in mycorrhizal fungi*. Electromagn Biol Med. 16 (29): 129 - 142.
9. Zastrow, C. R. 2000. *Maltotriose metabolism by Saccharomyces cerevisiae*. Biotechnology Letters, Kew, 22 (6): 455 - 459.

CAPÍTULO 2
CÁLCULOS DEL PROCESO

Enrique Marcet., Manuel Medell

CAPÍTULO 2. CÁLCULOS DEL PROCESO

Cálculos referidos al proceso de elaboración de cerveza.

1. Conceptos

Conceptos fundamentales relacionados con la bioquímica y la química-física del proceso.

1.1 Grado Plato.

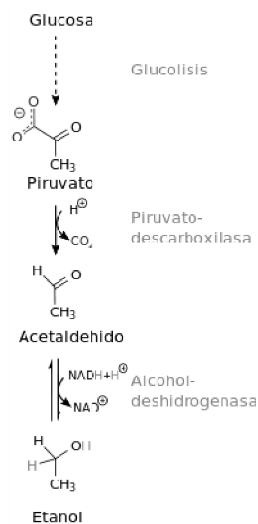
Un grado Plato [°P] equivale a decir que existe 1 [g] de sólidos disueltos en 100 [mL] de líquido a 20 °C. En la cerveza, este concepto está relacionado con los azúcares disueltos en el mosto. El °P puede ser determinado con la ayuda de un refractómetro o densímetro, aunque puede ser estimado matemáticamente de forma aproximada.

(e.t.1)Ejemplo mediante un análisis teórico.

Si tomamos un recipiente con agua y comenzamos a disolver azúcar en el mismo, el °P irá aumentando de forma proporcional a la disolución del azúcar. Al añadir una m cantidad de levadura, el °P comenzará a disminuir por la transformación de los sólidos solubles fermentables del mosto (azúcares fermentables) en alcohol y otros productos. De esta forma, es posible determinar el °P $_{inicial}$, si conocemos la cantidad de sólidos que se disolverán en una cantidad de agua; y el °P $_{final}$ (°P tras la fermentación) si se conoce la porción de sólidos fermentables de un total de sólidos solubles.
Un °P elevado, producido por una alta concentración de azúcares disueltos, trae como consecuencia una fermentación incompleta, y con esto cervezas muy dulces, que no son del agrado de muchos consumidores. Sucede, que la producción de alcohol y otros productos por parte de las levaduras resulta excesiva, y estas terminan muriendo por la alta concentración de estos productos (por el alcohol principalmente). Las levaduras comienzan a morir lentamente y la actividad fermentativa disminuye (hasta hacerse cero) cuando aún quedan azúcares fermentables en el mosto. Estas conclusiones son relativas, ya que dependen del tipo de levadura utilizada; concretamente, de la resistencia a las altas concentraciones de alcohol por parte de las levaduras.

1.2 Levadura cervecera.

Las levaduras cerveceras son microorganismos (hongos) unicelulares (2 a 4 [μm] de tamaño) que son importantes por su capacidad para realizar la descomposición mediante fermentación de diversos cuerpos orgánicos, principalmente los azúcares o hidratos de carbono, produciendo distintas sustancias.
Estas, llevan a cabo la producción de alcohol, CO_2 y otros compuestos mediante un proceso catabólico de oxidación incompleta, totalmente anaeróbico, siendo el producto final un compuesto orgánico.
Existen varios tipos de levaduras cerveceras; cada una brinda características diferentes a la cerveza. Las levaduras difieren en muchos aspectos: temperatura óptima de fermentación, rendimiento, resistencia alcohólica, precipitación, etc. Muchos cerveceros, optan por usar lavaduras que precipiten haciendo una masa compacta en el fondo del recipiente de fermentación; esto los ayuda a simplificar el proceso de filtración.
Durante la fermentación alcohólica, se produce etanol (ver id.1), CO_2 y otros productos en distintas proporciones, siendo mayoritarias las correspondientes al etanol y el CO_2.



id.1.Fermentación alcohólica

1.3 Cereales.

Los cereales como la cebada, el arroz, el trigo y el maíz, están compuestos mayoritariamente por polisacáridos (azúcares complejos) llamados almidones. Las levaduras no pueden actuar sobre estos compuestos, ya que para ello necesitarían producir amilasas en cantidades considerables. Es por ello que anteriormente mencionábamos la importancia del malteo de los cereales en el proceso de elaboración de cerveza; mediante este, los granos de cereal biosintetizan las enzimas necesarias para poder transformar los almidones (polisacáridos) en azúcares más simples (principalmente maltosa); azúcares que podrán ser transformados por las levaduras en los productos ya conocidos.

1.4 Enzimas en la producción de cerveza.

Las enzimas son moléculas de naturaleza proteica que catalizan reacciones químicas, siempre que sean termodinámicamente posibles: Una enzima hace que una reacción química que es energéticamente posible, pero que transcurre a una velocidad muy baja, sea cinéticamente favorable, es decir, transcurra a mayor velocidad que sin la presencia de la enzima. En estas reacciones, las enzimas actúan sobre unas moléculas denominadas sustratos, las cuales se convierten en moléculas diferentes denominadas productos. Casi todos los procesos en las células necesitan enzimas para que ocurran a unas tasas significativas. A las reacciones mediadas por enzimas se las denomina reacciones enzimáticas.
Luego del proceso de malteo del grano de cereal, la biosíntesis de enzimas se concreta en el paquete enzimático mostrado en la Tabla 1. Estas enzimas permiten al grano proveerse de nutrientes hasta que pueda fotosintetizar su propio alimento.

Tabla 1. Principales enzimas de los cereales malteados.

Enzima	Temperatura óptima	pH óptimo	Función
Fitasa	30-52 ºC	5,0 - 5,5	Reduce el pH.
Desramificante	35-45 ºC	5,0 - 5,8	Solubiliza los almidones.
β-Glucanasa	35-45 ºC	4,5 - 5,5	Rompe los glucanos de la pared celular.
Peptidasa	45-55 ºC	4,6 - 5,3	Produce Nitrógeno Amínico Libre.
Proteasa	45-55 ºC	4,6 - 5,3	Rompe proteínas que forman turbidez.
β-amilasa	55-66 ºC	5,0 - 5,5	Produce maltosa.
α-amilasa	68-72 ºC	5,3 - 5,7	Produce dextrinas.

(*) Paquete enzimático de los cereales malteados y detalles de las distintas enzimas; Temperatura y pH óptimo de actividad y función específica.

1.5 Rendimiento de los cereales.

El rendimiento es la cantidad [%] de sólidos que se solubilizarán en el mosto tras la maceración (sólidos solubles). Si añadimos azúcar de caña a una cantidad lógica de agua, esta se solubilizará casi en un 100%, y toda aquella que se solubilice, será fermentable en un 99%. En el caso de los cereales no ocurre lo mismo; de una cantidad x de cereal, se solubiliza una determinada porción (Tabla 2), y de esta porción solubilizada, solo el 65% (aproximadamente) es fermentable. Recuerde que los almidones no son los solidos solubles de los cereales, sino los azúcares en que estos son transformados durante la maceración.

Tabla 2. Fracción de Rendimiento de algunos cereales (fR).

Cereal*	Rendimiento (fracción)
Cebada Malteada (Malta)	0.76
Arroz	0.80
Maíz	0.77
Trigo	0.78

(*) Cereales más usados en la producción de cerveza.
Generalmente, los cereales como el arroz y el maíz son usados en conjunto con la Cebada Malteada debido al poco contenido de nitrógeno que poseen.

2. Cálculos básicos

Cálculos en el proceso de elaboración de cerveza.

Algunas ecuaciones para cálculos en el proceso de elaboración de cerveza.

$${}_{\text{Inicial}}{}^{0}\text{P} = \frac{\text{m[kg]} * (\text{fR} * 100)}{\text{H}_2\text{O[L]}}$$ (1) Grado Plato Inicial. [^{0}P]

$${}_{\text{Fermentable}}{}^{0}\text{P} = {}_{\text{Inicial}}{}^{0}\text{P} * 0.65^{(1)}$$ (2) Grado Plato Fermentable. [^{0}P]

$${}_{\text{Final}}{}^{0}\text{P} = {}_{\text{Inicial}}{}^{0}\text{P} - {}_{\text{Fermentable}}{}^{0}\text{P}$$ (3) Grado Plato Final. [^{0}P]

$$\rho_{\text{inicial}} = \frac{259000}{259 - {}^{\circ}\text{P}_{\text{inicial}}}$$ (4) Densidad Inicial. [kg/m^3].

$$\rho_{\text{final}} = \frac{259000}{259 - {}^{\circ}\text{P}_{\text{final}}}$$ (5) Densidad Final. [kg/m^3].

$$\%\text{A}\left(\frac{\text{v}}{\text{v}}\right) = (\rho_{\text{inicial}} - \rho_{\text{final}}) * 0.13125$$ (6) % de Alcohol en Volumen

(1) El valor 0.65 perteneciente a la Ecuación 2, corresponde al porciento de sólidos fermentables en un mosto de cereales (fracción fermentable). El azúcar refino es fermentable en un 99% (0.99), y cuando en la elaboración de cerveza se usan mezclas de cereales y azúcar se debe conocer cuál es el ^{0}P que aporta el azúcar para multiplicarlo por 0.99 y no por 0.65. Ver ejemplo 1.

Donde:

$_{\text{Inicial}}{}^{0}\text{P}$ - Grado Plato que se obtiene tras el proceso de hervor. Unidad = [^{0}P]

$_{\text{Fermentable}}{}^{0}\text{P}$ - Grado Plato fermentable esperado. La cantidad de sólidos solubles fermentables que se transformarán en alcohol y otros productos.

$_{\text{Final}}{}^{0}\text{P}$ - Diferencia entre el Grado Plato inicial y final.

ρ_{inicial} - Densidad tras el hervor. Unidad = [kg/m^3]

ρ_{final} - Densidad tras la fermentación. Unidad = [$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$]

%A(v) - % de alcohol en volumen.

C - Cantidad de cereal. Unidad = kg.

fR – Fracción de Rendimiento del cereal (Tabla 2).

H_2O [L] - Cantidad de agua (L) a 20 $^{\circ}$C. Unidad = [L].

m - Masa del cereal [kg]

Aclaración:
Los términos grado Plato inicial y grado Plato final están referidos al comienzo y final de la fermentación. En el proceso de maceración existen pérdidas; este proceso (maceración) nunca se realiza con el volumen de cerveza que se desea obtener, sino con una relación de empaste (V(L) = cantidad de cereal [kg] * 4). Luego, usando un tacho de filtración, se separa el mosto del residuo (afrecho). Este residuo o afrecho se lava con suficiente agua, teniendo en cuenta: la cantidad de cerveza que se desea obtener + las pérdidas por evaporación en el hervor + las pérdidas de cerveza post-hervor (transferencia de líquido, sedimentos…). Una vez que concluya el hervor, la densidad y el °P del mosto serán definitivos.

A modo de ejemplo, si se desean elaborar 100 [L] de cerveza con 15 [kg] de cebada, el volumen de agua necesario para la maceración es de 60 [L] (15 [kg] * 4). Una vez terminada la maceración, y separado el mosto del afrecho, la cantidad de liquido (mosto) equivale a 53 [L] (≈). Si deseamos obtener 100 L de cerveza y conocemos que la pérdida por evaporación equivale a 9 [L] y las pérdidas post-hervor están valoradas en 2 [L], el hervor deberá comenzar con una cantidad de mosto igual a 111 [L]. Para esto, es necesario lavar el afrecho con una cantidad de 58 [L] (≈) de agua (79 °C) (111 [L] – 53 [L]). Cuando concluya el hervor quedará una cantidad de mosto igual a 102 [L] (111 [L] – 9 [L]). La próxima pérdida de dos litros, se efectuará durante los trasvases, transferencias, fermentación (pérdidas post-hervor). Dicha pérdida (2 [L]) es una pérdida de cerveza, no de agua (como sucede en la evaporación), por lo que no afectará el °P inicial que deberá ser calculado en base a los 102 [L].

En los ejemplos resueltos que se muestran a continuación, "no se tendrán en cuenta las pérdidas post-hervor", y en algunos casos, "la evaporación en el hervor será despreciada".

EJERCICIOS RESUELTOS

Ejemplo 1 Cálculos en el proceso de maceración

Se desea elaborar un mosto con 100 [mL] de agua a 20 ^{0}C, 10.0 [g] de azúcar de caña y 5.0 [g] de cebada malteada.

1.0) Calcule el ^{0}P tras el hervor y luego de la fermentación. Suponga que el volumen tras el hervor es de 100 [mL] a 20 ^{0}C.

2.0) Calcule el alcohol (%) en volumen y en peso obtenido tras la fermentación.

3.0) Plantee cómo calcularía la atenuación aparente y real ¿En qué consisten ambas?

4.0) Plantee cómo calcularía el extracto, el extracto total y el rendimiento de la maceración ¿En qué consisten?

Datos:

Se conoce que el rendimiento de la cebada es de un 76% y el del azúcar de un 99%.

La fracción fermentable aproximada de los cereales es de 0.65 $\frac{(U)\ fermentable}{(U)\ total}$; donde U es igual a la unidad de masa utilizada (g, kg…).

Solución de la pregunta 1.0

$$_{\text{cebada}}{}^{0}\text{P} = \frac{\text{m [kg]}*(\text{fR}*100)}{\text{H}_2\text{O [L]}} = \frac{0.005\text{ [kg]} *76}{0.1\text{ [L]}} = 3.8\ \ [°\text{P}]$$

(c.1) Cálculo del grado Plato que aporta la cebada al mosto. Se debe atender a las conversiones de unidades.

$$_{\text{azúcar}}{}^{0}\text{P} = \frac{\text{m [kg]}*(\text{fR}*100)}{\text{H}_2\text{O [L]}} = \frac{0.010\text{ [kg]} * 99}{0.1\text{ [L]}} = 9.9\ \ [°\text{P}]$$

(c.2) Cálculo del grado Plato que aporta el azúcar al mosto.

$$_{\text{Inicial}}{}^{0}\text{P} = {}_{\text{cebada}}{}^{0}\text{P} + {}_{\text{azúcar}}{}^{0}\text{P} = 13.7\ \ [°\text{P}]$$

(c.3) Cálculo del grado Plato total o inicial.

R1/ El grado Plato tras el hervor o el grado Plato inicial es igual a 13.7.

$$_{\text{Cebada}-\text{Fermentable}}{}^{0}\text{P} = {}_{\text{cebada}}{}^{0}\text{P} * 0.65 = 3.8\ {}^{0}\text{P} * 0.65 = 2.47\ {}^{0}\text{P}$$

(c.4) Cálculo del grado Plato fermentable referido a los sólidos solubles aportados por la cebada.

$$_{\text{Azúcar}-\text{Fermentable}}{}^{0}\text{P} = {}_{\text{azúcar}}{}^{0}\text{P} * 0.99 = 9.9\ {}^{0}\text{P} * 0.99 = 9.89\ {}^{0}\text{P}$$

(c.5) Cálculo del grado Plato fermentable referido a los sólidos solubles aportados por el azúcar de caña.

$$_{\text{Fermentable}}{}^{0}\text{P} = {}_{\text{Cebada}-\text{Fermentable}}{}^{0}\text{P} + {}_{\text{Azúcar}-\text{Fermentable}}{}^{0}\text{P} = 2.47\ {}^{0}\text{P} + 9.89\ {}^{0}\text{P} = 12.36\ {}^{0}\text{P}$$

(c.6) Cálculo del grado Plato total fermentable.

$$_{\text{Final}}{}^{0}\text{P} = {}_{\text{Inicial}}{}^{0}\text{P} - {}_{\text{Fermentable}}{}^{0}\text{P} = 13.7\ {}^{0}\text{P} - 12.36\ {}^{0}\text{P} = 1.34\ {}^{0}\text{P}$$

(c.7) Cálculo del grado Plato final o grado Plato tras la fermentación.

R2/ El grado Plato luego de la fermentación o el grado Plato final es igual a 1.34 ^{0}P.

Solución de la pregunta 2.0

$$\rho_{inicial} = \frac{259000}{259 - {}^{\circ}P_{inicial}} = \frac{259000}{259 - 13.7\ {}^{\circ}P} = 1055.8\ [\frac{kg}{m^3}]$$

(c.8) Cálculo de la densidad inicial a 20 °C.

$$\rho_{final} = \frac{259000}{259 - {}^{\circ}P_{final}} = \frac{259000}{259 - 1.34\ {}^{\circ}P} = 1005.2\ [\frac{kg}{m^3}]$$

(c.9) Cálculo de la densidad final a 20 °C.

$$\%A(v) = (\rho_{inicial} - \rho_{final}) * 0.13125 = (1055.8\ [\frac{kg}{m^3}] - 1005.2\ [\frac{kg}{m^3}]) * 0.13125 = 6.64\ \%$$

(c.10) Cálculo del % de alcohol en volumen.

R1/ El % de alcohol en volumen es igual a 6.64 %.

El % de alcohol en peso se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\%A(p) = ({}_{Inicial}^{0}P - 0.1808 * {}_{Inicial}^{0}P - 0.8192 * {}_{final}^{0}P) / (2.0665 - 0.010665 * {}_{Inicial}^{0}P)$$

(7) % de Alcohol en peso.

Para la solución de la segunda parte de la pregunta 2.0 tenemos:

$$\%\mathbf{A}(\mathbf{p}) = ({}_{Inicial}^{0}P - (0.1808 * {}_{Inicial}^{0}P + 0.8192 * {}_{final}^{0}P)) / (2.0665 - 0.010665 * {}_{Inicial}^{0}P) =$$
$$(13.7\ {}^{\circ}P - (0.1808 * 13.7\ {}^{\circ}P + 0.8192 * 1.34\ {}^{\circ}P)) / (2.0665 - 0.010665 * 13.7\ {}^{\circ}P) = 5.27\ \%$$

(c.11) Cálculo del % de alcohol en peso.

R2/ El % de alcohol en peso es igual a 5.27%.

Solución de la pregunta 3.0

$$At.Ap. = ({}_{Inicial}^{0}P - {}_{final}^{0}P) * 100 / {}_{Inicial}^{0}P$$ (8) Atenuación aparente.

$$At.Real = ({}_{Inicial}^{0}P - 0.1808 * {}_{Inicial}^{0}P - 0.8192 * {}_{final}^{0}P) / {}_{Inicial}^{0}P$$ (9) Atenuación real.

La atenuación aparente representa el porciento de sólidos solubles fermentados (convertidos en alcohol por la levadura).
Una vez que la fermentación a iniciado, parte del líquido está compuesto de alcohol, cuya densidad es menor que la del agua. Todas las mediciones, una vez que hay alcohol, se consideran aparentes y no reales.
La atenuación real (ecuación 9) es una aproximación del porciento de sólidos solubles fermentados realmente.

Solución de la pregunta 4.0

$$Ext = {}_{Inicial}^{0}P * 10$$ (10) Extracto [g/L a 20 °C].

$$Ext.Total = Ext * \frac{V[L\ a\ 20\ {}^{\circ}C]}{1000}$$ (11) Extracto total [kg].

$$Rendimiento = \frac{Ext.Total * 100}{C[kg]}$$ (12) Rendimiento en la maceración [%].

El extracto calculado mediante $Ext = {}_{Inicial}^{0}P * 10$ corresponde a la cantidad en [g/L] de sólidos solubles aportados por el cereal a 20 °C.
El extracto total es la cantidad de sólidos solubles totales [kg] en el mosto.
El rendimiento corresponde al % de aprovechamiento del cereal en la maceración teniendo en cuenta los sólidos disueltos en el mosto.

Ejemplo 2 Cálculos en el proceso de hervor.

Un mosto de 25 [L] con una densidad de 1040.6 [kg/m^3] a 20 ^{0}C se somete a un proceso de hervor. Al comienzo del mismo, se añaden 20.0 [g] de un lúpulo de 7.50% de α-ácidos. Cinco minutos antes de finalizar el hervor se añaden 5.0 [g] de un lúpulo de 5.0 % de α-ácidos. Se conoce que el hervor dura 60 minutos. Calcule:

1.0) IBU al finalizar el hervor.

2.0) Los mg/L de α-ácido agregados.

Datos:

Suponga que durante el hervor existe una pérdida de 1 [L] a 20 ^{0}C por evaporación.

El lúpulo añadido en las dos adiciones está en pellets.

Solución de la pregunta 1.0.

El IBU es la unidad que se estandariza el amargor de una cerveza. La ecuación para el cálculo del IBUs es la siguiente:

$$\mathrm{IBU} = \mathrm{m[g]} * \left(\frac{\%\mathrm{A}}{100}\right) * \left(\frac{\%\alpha\mathrm{a}}{100}\right) * \left(\frac{1000}{\mathrm{V[L]}}\right)$$ (13) Cálculo del IBU.

IBU: Los IBU (International Bitterness Units) son las unidades con las que se mide el amargor de la cerveza. Cuanto más alto sea, más iso-alpha-ácidos contiene y por lo tanto es más amarga.
1 IBU = 1 mg/L de iso-alpha-ácido.

Donde:

%αa - % de α-ácidos que posee el lúpulo.

%A - % de Aprovechamiento según el tiempo de hervor.

m[g] – Masa de la cantidad de lúpulo utilizada.

V[L] – Volumen tras el hervor.

Analizando detenidamente el problema, nos percatamos que nos faltan dos datos: El volumen final tras el hervor y el % de Aprovechamiento. Para determinar el volumen tras el hervor se resta el volumen inicial y la pérdida; el volumen tras el hervor es igual a 24 L (c.12). Esta resta directa es posible ya que los volúmenes dados en los datos están a las mismas temperaturas (20 ^{0}C). Sobre esto trataremos más adelante.

El % de aprovechamiento se determina usando las Tablas 3 y 4 en dependencia del tipo de lúpulo (en Flor entera o en Pellets).

Tabla 3. Tabla para lúpulo en Pellets

Tiempo de hervor (minutos)	Densidad inicial del mosto antes de hervir (kg/m^3)												
	1000	1010	1020	1030	1040	1050	1060	1070	1080	1090	1100	1110	1120
5	6,0%	6,0%	6,0%	5,5%	5,5%	5,5%	5,0%	5,0%	4,5%	4,0%	3,5%	3,0%	2,0%
10	11,0%	11,0%	11,0%	11,0%	10,5%	10,5%	10,0%	10,0%	9,0%	8,5%	7,0%	6,0%	5,0%
15	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	14,5%	14,5%	14,0%	13,5%	13,0%	11,5%	11,0%	9,5%	8,0%
30	21,5%	21,5%	21,5%	21,0%	21,0%	20,5%	20,0%	19,5%	18,5%	17,0%	15,5%	14,0%	12,0%
45	26,5%	26,5%	26,5%	26,0%	26,0%	25,5%	24,5%	23,5%	22,0%	20,5%	18,5%	16,5%	15,0%
60	30,0%	30,0%	30,0%	29,5%	29,0%	28,5%	27,5%	26,5%	25,0%	23,0%	21,0%	19,0%	17,0%
90	35,0%	35,0%	35,0%	35,0%	34,0%	33,5%	32,5%	31,0%	29,5%	27,5%	25,0%	22,5%	20,0%
120	39,0%	39,0%	39,0%	38,5%	37,5%	37,0%	36,0%	34,0%	32,0%	30,0%	27,5%	25,0%	22,5%
150	42,0%	42,0%	41,5%	41,5%	41,0%	40,0%	39,0%	37,0%	35,0%	32,5%	29,5%	26,5%	24,0%
180	44,0%	44,0%	43,5%	43,0%	42,5%	41,5%	40,0%	38,5%	36,5%	34,0%	31,0%	28,0%	25,0%

Tabla 4. Tabla para lúpulo en Flor Entera

Tiempo de hervor (minutos)	Densidad inicial del mosto antes de hervir (kg/m^3)												
	1000	1010	1020	1030	1040	1050	1060	1070	1080	1090	1100	1110	1120
5	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	4,5%	4,5%	4,0%	4,0%	3,5%	3,0%	2,5%	2,0%	2,0%
15	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	11,5%	11,0%	10,5%	10,0%	9,5%	8,5%	7,5%	6,5%
30	17,0%	17,0%	17,0%	17,0%	16,5%	16,5%	16,0%	15,5%	14,5%	13,5%	12,5%	11,0%	9,5%
45	21,0%	21,0%	21,0%	20,5%	20,5%	20,0%	19,5%	19,0%	17,5%	16,5%	15,0%	13,5%	12,0%
60	24,0%	24,0%	24,0%	23,5%	23,5%	23,0%	22,5%	21,0%	20,0%	18,5%	17,0%	15,5%	13,5%
90	28,5%	28,5%	28,5%	28,0%	28,0%	27,0%	26,5%	25,0%	23,5%	22,0%	20,0%	18,0%	16,0%
120	31,5%	31,5%	31,5%	31,0%	30,5%	29,5%	29,0%	27,5%	26,0%	24,0%	22,0%	20,0%	18,0%
150	33,5%	33,5%	33,5%	33,0%	32,5%	32,0%	31,0%	29,5%	27,5%	25,5%	23,5%	21,0%	20,0%
180	35,0%	35,0%	34,5%	34,5%	34,0%	33,0%	32,0%	30,0%	29,0%	27,0%	24,5%	22,0%	20,0%

Para localizar un valor en las tablas se busca la densidad del mosto antes de iniciar el hervor en la parte superior de la tabla, y el tiempo de hervor al que se somete el lúpulo en la parte lateral izquierda. Luego se busca el % de Aprovechamiento correspondiente a estos dos datos numéricos (densidad y tiempo).

Volviendo al Ejemplo 2, ahora podemos determinar el % de Aprovechamiento para el lúpulo en Pellets. Para la primera adición, el aprovechamiento es equivalente a un 29.0 %. En este momento, no le prestamos atención a la evaporación pues lúpulo se añade justo al comienzo del hervor y no se ha evaporado prácticamente nada. Para determinar el aprovechamiento en la segunda adición, 5 minutos antes de finalizar el hervor, debemos tener en cuenta que la pérdida por evaporación (1 [L]) se ha concretado casi en su totalidad, es decir, se ha evaporado una cantidad de agua "considerable" y el mosto se ha concentrado (ha aumentado su densidad), por lo que sería un error tomar el aprovechamiento para esta adición con la densidad a la que comienza el hervor.

Conocemos que 5 minutos antes del final del hervor el volumen es prácticamente 24 [L]. La densidad cuando existían 25 [L] era de 1040.6]kg/m^3]. La densidad se puede expresar como $\frac{m}{V}$ (ecuación 14), y si observamos detenidamente, el volumen en la densidad está en m^3 mientras que el volumen del mosto se encuentra en litros, así que convertiremos los litros a m^3.

(n.1). [La Tabla de densidades del agua pura se encuentra en los anexos (ver)].

Conversiones de unidades:

$25 [L] = 0.025 [m^3]$, $1 [L] = 0.001 [m^3]$, $24 [L] = 0.024 [m^3]$
(c.13) Convirtiendo unidades.

Usando la ecuación $\rho = \frac{m}{v}$ de la forma $m = \rho * v$ obtenemos la masa del mosto.

$$m = \rho * v = 1040.6 \left[\frac{kg}{m^3}\right] * 0.025 [m^3] = 26.015 [kg]$$
(c.14) Calculando la masa total del mosto antes de la evaporación.

Usando la ecuación $\rho = \frac{m}{v}$ de la forma $m = \rho * v$ podemos calcular la masa de agua evaporada si tenemos el valor de la densidad del agua a 20 ^{0}C.
$\rho(H_2O) = 998.23$ kg/m^3 - [Ref. Table 290 "Smithsonian Physical Tables," 9th rev; ed., Washington, D.C., 1954.]

$$m = \rho * v = 998.23 \left[\frac{kg}{m^3}\right] * 0.001 [m^3] = 0.998 [kg]$$
(c.15) Calculando la masa total evaporada.

Luego restamos la masa total y la masa evaporada para obtener la masa final:
$$m_f = m_t - m_e = 26.015 [kg] - 0.998 [kg] = 25.017 [kg]$$
(c.16) Calculando la masa total del mosto tras la evaporación.

Ahora, luego de haber calculado la masa tras la evaporación es posible obtener la nueva densidad del mosto:
$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{25.017 [kg]}{0.024 [m^3]} = 1042.3 [\frac{kg}{m^3}]$$
(c.17) Calculando la densidad correspondiente al volumen de 24 [L] o 0.024 [m^3].

Se puede notar que luego de corregir la densidad, el valor obtenido (c.17) es prácticamente igual que el anterior. Sucede que, en cálculos serios es imprescindible hacer estas rectificaciones aunque los resultados se asemejen.
Entonces con una densidad de 1042.3 [kg/m^3] y un tiempo de hervor de 5 minutos, el aprovechamiento correspondiente es de un 5.5 %.

Ahora podemos calcular el IBU final usando la ecuación 14.

$$IBU = m[g] * \left(\frac{\%A}{100}\right) * \left(\frac{\%\alpha a}{100}\right) * \left(\frac{1000}{V[L]}\right) = 20 [g] * \left(\frac{29\%}{100}\right) * \left(\frac{7.5\%}{100}\right) * \left(\frac{1000}{24 [L]}\right) = 18.125 [IBU]$$
(c.18) Calculando IBU en la primera adición.

$$IBU = m[g] * \left(\frac{\%A}{100}\right) * \left(\frac{\%\alpha a}{100}\right) * \left(\frac{1000}{V[L]}\right) = 5 [g] * \left(\frac{5.5\%}{100}\right) * \left(\frac{5.0\%}{100}\right) * \left(\frac{1000}{24 [L]}\right) = 0.573 [IBU]$$
(c.19) Calculando IBU en la segunda adición.

$$IBU\ final = IBU_1 + IBU_2 = 18.125 [IBU] + 0.573 [IBU] = 18.7 [IBU]$$
(c.20) Calculando IBU final.

R1/El IBU final (tras el hervor) es de 18.7 [IBU].

Solución de la pregunta 2.0.
Los mg/L de α-ácido agregados se calculan usando la siguiente ecuación:

$$mg\ \alpha a = \frac{\%\alpha a}{100} * m[g] * \frac{1000}{V\ [L]}$$ (15) Cálculo de los mg de α-ácido.

Donde:
%αa - % de α-ácidos que posee el lúpulo.
m[g] - Masa de la cantidad de lúpulo utilizada.
V [L] - Volumen al final tras el hervor.

$$mg\ \alpha a = \frac{\%\alpha a}{100} * m[g] * \frac{1000}{V[L]} = \frac{7.50\%}{100} * 20\ [g] * \frac{1000}{24\ [L]} = 62.5\ [mg/L]$$
(c.21) Cálculo de los mg de α-ácido en la primera adición.

$$mg\ \alpha a = \frac{\%\alpha a}{100} * m[g] * \frac{1000}{V[L]} = \frac{5.0\%}{100} * 5\ [g] * \frac{1000}{24\ [L]} = 10.41\ [mg/L]$$
(c.22) Cálculo de los mg de α-ácido en la segunda adición.

Tabla 5. IBU de algunas cervezas

CERVEZAS	INTERVALO DE IBU
Atlbier	25 - 48
Barley Wine	50 - 100
Bitter Inglesa	20 - 35
Bock	20 - 30
Bohemian Pilsener	30 - 40
Brown Ale Americana	25 - 60
Brown Ale Inglesa	15 - 25
Dry Stout Clásica	30 - 40
India Pale Ale	40 - 60
Kolsh	20 - 30
Munich Dunkel	16 - 25
Octoberfest	22 - 28
Pale Ale Americana	20 - 40
Pale Ale Inglesa	20 - 40
Pilsener Alemana	35 - 45
Porter	20 - 40
Sweet Stout	15 - 25

En la Tabla 5. Se muestran de forma aproximada los IBU de algunas cervezas muy conocidas. Esta información le ayudará a elegir correctamente el amargor deseado.

Note que puede despejar la ecuación del IBU en función del los gramos de lúpulo. Con este despeje podrá añadir el IBU deseado y obtener los gramos de lúpulo necesarios.

Despeje de la Ecuación 14:

$$m(g) = IBU * \left(\frac{V[L]}{1000}\right) * \left(\frac{100}{\%\alpha a}\right) * \left(\frac{100}{\%A}\right)$$
(14a) Cálculo de la masa de lúpulo necesaria según el IBU deseado.

Ejemplo 3:
Se utiliza un densímetro para medir la densidad de un mosto de cerveza que se encuentra a 64 ^{0}C. Se reporta un valor de 1022.9 [kg/m^3]. Calcule el grado Plato del mosto.
Solución:
Usando la ecuación 4, es posible determinar directamente el grado Plato. Por concepto, un ^{0}P equivale a 1 [g] de sólido disuelto en 100 [mL] de líquido a 20 ^{0}C. Leyendo detenidamente el problema, podemos observar que la densidad fue medida a una temperatura de 64 ^{0}C. El primer paso es realizar una corrección de densidad de 64 ^{0}C a 20 ^{0}C mediante la siguiente ecuación:

$\rho(\text{x a T}_2) = \frac{\rho(\text{H}_2\text{O a T}_2) * \rho(\text{x a T}_1)}{\rho(\text{H}_2\text{O a T}_1)}$ (16) Cálculo de la corrección de densidad de T1 a T2 en un mosto cervecero.

Donde:

$\rho(\text{H}_2\text{O a T}_2)$ - Densidad del H_2O a la temperatura que se desea corregir.
$\rho(\text{x a T}_1)$ – Densidad del mosto a la temperatura que se realiza la medición.
$\rho(\text{H}_2\text{O a T}_1)$ – Densidad del agua a la temperatura que se desea corregir.

Datos para la resolución del problema:

	Densidad a la temperatura a la que se desea corregir (20 °C)	Densidad a la temperatura a la que se realiza la medición (64 °C)
H_2O	998.23 [kg/m^3]	980.59 [kg/m^3]
Mosto	Valor a calcular. (x)	1022.90 [kg/m^3]

[Ref. Table 290 "Smithsonian Physical Tables," 9th rev; ed., Washington, D.C., 1954.]

$$\rho(\text{x a 20 °C}) = \frac{\rho(\text{H}_2\text{O a 20°C}) * \rho(\text{x a 64 °C})}{\rho(\text{H}_2\text{O a 64 °C})} = \frac{998.23 * 1022.9}{980.59} = 1041.3 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$$

(c.23) Corrección de la densidad de 64 °C(T_1) a 20°C (T_2).

Con la densidad corregida, para calcular el °P del mosto solo hay que usar la ecuación 4 despejada de la siguiente forma:

$$°\text{P}_{\text{inicial}} = 259 - \frac{259000}{\rho_{\text{inicial}}} = 259 - \frac{259000}{1041.3} = 10.27\ [°\text{P}]$$

(c.24) Despeje de la ecuación 14 y cálculo del °P del mosto.

Ejemplo 4:
Un mosto de cerveza de 2.3 [hL] a 80 ^{0}C se somete a un proceso de hervor durante 45 minutos. Se reporta una evaporación de 20 [L] a 20 ^{0}C. A la temperatura de 80 ^{0}C, los 2.3 [hL] de mosto cervecero se encontraban a una densidad de 1035 [kg/m^3]. Calcule el volumen final (al finalizar el hervor) de la forma más exacta posible.

Solución:
El primer paso es calcular la masa total del mosto usando un correcto despeje de la ecuación (15) de densidad:

Para los 2.3 [hL] a 80 ^{0}C con una densidad de 1035 [kg/m^3]
2,3 [hL] = 230 [L] = 0.23 [m^3] (c.21) Conversión de hL a m^3

$$m = v * \rho = 0.23\ [\text{m}^3] * 1035 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right] = 238.05\ [\text{kg}]$$

(c.25) Cálculo de la masa de los 2.3 [hL].

El segundo paso, es rectificar la densidad dada en el problema (1035 [kg/m^3]) siguiendo el mismo procedimiento del Ejemplo 3 (c.23):

$$\rho(\text{x a 20 °C}) = \frac{\rho(\text{H}_2\text{O a 20°C}) * \rho(\text{x a 80 °C})}{\rho(\text{H}_2\text{O a 80 °C})} = \frac{998.23 * 1035.0}{971.83} = 1063.1 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$$

(c.26) Corrección de la densidad de 80 °C a 20°C.

Teniendo la masa total del mosto (recordar que aunque el volumen varía, la masa es constante) es posible conocer cuál sería el volumen si este estuviera a 20°C.

$$v = \frac{m}{\rho} = \frac{238.05}{1063.1} = 0.22392\ [m^3] = 224\ [L] = 2.24\ [hL]$$

(c.27) Cálculo del volumen a 20 °C.

Para concluir el ejercicio y responder a nuestra pregunta solo nos queda restar el volumen inicial a 20 °C, con el volumen evaporado, que también se encuentra a 20 °C.

$$V_f = 224\ [L] - 20\ [L] = 204\ [L]$$

(c.28) Cálculo del volumen tras el hervor a 20 °C.

Ejercicios S. 2.0 (Cálculo Básico)

1. Un recipiente que contiene 20 [L] de mosto se encuentra a 32 °C. Luego se somete a un proceso de calentamiento hasta los 90 °C.
a) Calcule el volumen del agua a la temperatura final (90 °C)

2. Un mosto de 100 [L] a 54 °C se somete a un proceso de hervor durante 48 minutos. Es ese tiempo se evaporan 2.3 [L] a 1 °C. Se añaden 50 [g] de lúpulo (flor entera) de 5.2 % de α-ácidos desde el comienzo del hervor.
a) Calcule los mg/L de α-ácidos aportados.

3. Se realiza la fermentación de un mosto cervecero con $°P_{inicial} = 12.5$. A los días, un técnico de laboratorio toma una muestra del recipiente, la enfría a 2 °C y mide su densidad. El valor obtenido por el técnico es de 1010 [kg/m^3]
a) Calcule el % de alcohol en volumen en el momento que el técnico realiza la medición.

4. Se realiza una maceración en 100 [L] de agua (1 [hl]) usando los siguientes cereales y porciones:

Cereal	m [kg]
Cebada	12
Trigo	3
Maíz	2

a) Calcule el grado Plato inicial asumiendo que las pérdidas existentes se reponen y la cantidad de mosto tras el hervor es igual a 100 [L].

Problema de desafío:
Un trabajador de una industria cervecera alemana reporta las mediciones que efectuó sobre un mosto en hervor (100 [L] a 98 °C). Antes de comenzar el hervor, el mosto tenía una densidad de 1045 [kg/m^3] a 65 °C. A los diez minutos de comenzar el hervor, la densidad aumentó a 1050 [kg/m^3] a 100 °C. Pasado 80 minutos, el hervor concluye y el trabajador toma una muestra, la enfría a 15 °C y le determina el °Brix, obteniendo un valor de 18.2 [°Brix].
a) Calcule la masa de agua evaporada durante los primeros diez minutos del hervor.
b) Calcule la total masa evaporada.
c) Calcule de forma aproximada la evaporación horaria (masa evaporada en una hora).

Laboratorio #1

Determinación experimental del rendimiento de un cereal
y de sus sólidos solubles fermentables.

1. Objetivos
1.1 Determinar el rendimiento de un cereal.
1.2 Calcular el % de sus sólidos solubles fermentables.

2. Aplicación
2.1 Esta determinación puede ser aplicada a cualquier tipo de cereal.
2.2 Cualquier modificación de la técnica experimental pudiera causar errores en los resultados.

3. Materiales (m)

3.1 Molino de cereal.
3.2 Cereal seleccionado (50 [g]).
3.3 2 Beaker de 1000 [mL] graduados (1 y 2).
3.4 1 g de lúpulo en pellets de 4-5 %α-ácidos.
3.5 Suficiente agua potable.
3.6 Agua hervida (1000 [mL]) a 79 °C.
3.7 Equipo de calentamiento con termostato acoplado.
3.8 Agitador de cristal limpio.
3.9 Malla filtrante de agujeros finos.
3.10 Termómetro (0 – 100 °C)
3.11 Reloj.
3.12 Reactivo Lugol (ver Laboratorio #2).
3.13 Pipeta automática de 1 [mL] con dos puntas estériles.
3.14 Refractómetro calibrado.
3.15 Levadura cervecera líquida (0.2 [mL]).
3.16 Recipiente adecuado de 600-750 [mL] para realizar una fermentación.
3.17 Máquina refrigerante regulada a una temperatura de 17 °C.

4. Ecuaciones.
Ecuación 1. Cálculo del rendimiento.

$$\text{Rendimiento}(\%) = (°P * (500\ [mL]))/50[g]$$

Donde: °P = Grado Plato obtenido tras la maceración (r1).
El resultado obtenido (r1) en el paso 12 de la técnica operatoria se medió a 15 °C con un refractómetro (°Brix). Por ello se debe convertir a °P (20 °C) usando los métodos aprendidos o consultando la tabla de conversión. (n.2). [La Tabla °Brix - °Plato - ρ se encuentra en los anexos (ver)].

Ecuación 2. Cálculo del % de sólidos solubles fermentables (SSF).

$$SSF = ({}_{\text{Inicial}}^{0}P - 0.1808 * {}_{\text{Inicial}}^{0}P - 0.8192 * {}_{\text{final}}^{0}P)/{}_{\text{Inicial}}^{0}P$$

El grado Plato inicial corresponde a la medición del paso 12 (recuerde rectificar esta medición a 20 °C para poder expresarla como °P). El grado Plato final corresponde a la medición obtenida en el paso 17 (r2) (debe ser rectificada a 20 °C).

Recuerde que: Esta medición (SSF) puede ser usada para expresar la fermentabilidad aproximada de un mosto en relación con la levadura usada, es decir, para que las determinaciones de SSF se cumplan en la práctica se debe usar la misma levadura. Con el % de SSF es posible sustituir 0.65 en la ecuación 2 por el valor obtenido SSF /100.

Técnica operatoria para determinar el rendimiento de un cereal:

1.0) Triturar los 50 [g] del cereal malteado seleccionado (m.3.2) usando el molino (m.3.1).
2.0) Añadir 200 [mL] de agua potable (m.3.5) en el Beaker (Beaker 1) de 1000 [mL] (m.3.3).
3.0) Conectar el equipo de calentamiento (m.3.7) y colocar el Beaker (Beaker 1) con el agua sobre la fuente de calor del equipo.
4.0) Usar el termómetro (m.3.10) para controlar la temperatura durante el calentamiento.
5.0) Cuando el agua se encuentre a 40 °C verter en el Beaker (Beaker 1) el cereal triturado.
6.0) Mantener una agitación constante (usar m.3.8) durante todo el proceso de calentamiento.
7.0) Mantener la temperatura (40 °C) constante por 10 minutos (programando el termostato para este tiempo).
8.0) Calentar la mezcla hasta los 48 °C y mantener la temperatura constante (48 °C) por 10 minutos.
9.0) Continuar calentado la mezcla agua – cereal (mosto) hasta que la temperatura se sitúe sobre los 65 °C.
10.0) Programar el termostato (m.3.7) para mantener la temperatura a 65 °C por una hora.
11.0) Realizar la prueba del Lugol (usar m.3.12, para su preparación y uso, ver Laboratorio #2) al pasar la primera hora. Si la prueba muestra presencia de almidón en el mosto, continuar el calentamiento a 65 °C e ir realizando la prueba del Lugol cada 5 minutos hasta que el test de negativo (no exista presencia de almidón).
12.0) Calentar la mezcla hasta situar la temperatura sobre los 70 °C y mantener este valor constante por 15 minutos.
13.0) Trasvasar todo el mosto del beaker (Beaker 1) de 1000 [mL] hacia el otro beaker de igual capacidad (Beaker 2) (m.3.3) usando la malla filtrante (m.3.9) para separar el afrecho durante el trasvase.
14.0) Llevar el volumen del mosto filtrado que se encuentra en el Beaker 2 hasta los 500 [mL]. Esto se logra lavando el afrecho con el agua hervida a 79 °C (m.3.6), de forma tal que el líquido resultante del lavado caiga sobre el mosto filtrado. Mientras se añade el agua caliente (79 °C) al afrecho, se debe usar el agitador para revolver la mezcla agua – afrecho y permitir que esta caiga con facilidad sobre el mosto filtrado (Beaker 2) y se diluya en el agua caliente todos los sólidos solubles contenidos en el afrecho. Asegúrese que el volumen del Beaker 2 (durante el lavado) no sobrepase los 500 [mL], y una vez completado este volumen, detenga el lavado y deseche el afrecho.
15.0) Suministrar calor a los 500 [mL] de mosto hasta alcanzar los 100°C.
16.0) Añadir el lúpulo (1 [g]) (m.3.4) y mantener la temperatura constante (100°C) durante 30 minutos.
17.0) Dejar refrescar el mosto hasta los 30 °C.
18.0) Reponer el volumen perdido por la evaporación usando agua hervida (m.3.6) a temperatura ambiente ($\approx 28 - 30°C$). La reposición del volumen perdido consiste simplemente en añadir agua hervida hasta los 500 [mL]. Agitar fuertemente luego de reponer el volumen.
19.0) Enfriar el mosto hasta los 15 °C.
20.0) Realizar una medición con el refractómetro (m.3.14) usando la pipeta automática (m.3.10) para extraer ≈ 0.5 [mL] del mosto (a 15 °C), volumen necesario para la medición. Anotar el resultado (r1).
21.0) Usar la ecuación 1 para calcular el rendimiento del cereal.

Técnica operatoria para determinar el % de sólidos solubles fermentables:

1.0) Verter los 500 [mL] de mosto en el recipiente de fermentación (m.3.16).
2.0) Usar la pipeta automática con una punta estéril para añadir 0.2 [mL] de levadura activa (m.3.15) al mosto.
3.0) Colocar el recipiente (m.3.16) en la máquina refrigerante (m.3.17) a 17 ºC.
4.0) Controlar diariamente la fermentación (realizando mediciones con el refractómetro) hasta que la misma finalice (2-4°P).
5.0) Realizar la medición final añadiendo con la pipeta automática la cantidad de mosto fermentado necesaria al refractómetro. Anotar el resultado (r2).
6.0) Usar la ecuación 2 para calcular el % de sólidos solubles fermentables.

3. Análisis teórico – matemático de un proceso completo

Análisis de un proceso completo de producción de cerveza.

3.1 Molienda

El comienzo del proceso de elaboración de cerveza comienza con la molienda de los granos de cereal (Capítulo 1 - 2.2). Es conveniente analizar el contenido a moler para detectar la presencia de cuerpos extraños, como trozos de metal o piedras que pudieran dañar las máquinas moledoras. Se debe lograr que la molienda se realice con la mayor calidad posible.
La molienda es fundamental para que se liberen las enzimas y se hidrate el endospermo durante la maceración. La cáscara de los granos debe quedar lo más entera posible, para que posteriormente pueda actuar como material filtrante. El tamaño de las partículas tras la molienda varía de 0,15 mm hasta 0,6 mm de diámetro.
La cantidad a triturar es calculada (según el °P que se desee obtener) usando las ecuaciones y procedimientos explicados en este capítulo.

3.2 Maceración

Las características del agua para la fabricación, influyen notablemente en la calidad de la cerveza. En la fabricación de la misma se utiliza agua potable y sus características organolépticas deben ser completamente normales. Las fuentes de abasto son variadas, dependiendo en gran medida del lugar de ubicación de la fábrica. Se puede obtener de la red del acueducto, de manantiales superficies o subterráneos, de lagos, de ríos, de pozos, etc., dependiendo en gran medida la calidad de la cerveza de la pureza o desalinización del agua, pudiéndose controlar mejor su sabor.
El agua, al igual que todos los demás componentes, es constantemente analizada. Es tratada con sulfatos, nitratos, cloruros, sodio, calcio, etc., para mantener los estándares de calidad exigidos. En las plantas se cuenta con equipamientos que permiten desalinizar y depurar el líquido a utilizar. En dependencia del tipo de cerveza a producir y el contenido de sales presentes en el agua, es el tratamiento que recibirá.

La cantidad de agua necesaria en la maceración se calcula mediante la relación de empaste usando la siguiente ecuación:

$$V[L] = C[kg] * 4 \left[\frac{L}{kg}\right]$$ (1) Cantidad de agua necesaria.

Donde $V[L]$ es igual a la cantidad de litros necesarios en la maceración y C [kg] equivale a la cantidad de cereal que se desea macerar.
Teniendo la cantidad de agua y cereal necesario, es posible estimar el volumen en la maceración una vez sea añadido el cereal:

$$V[L] = \frac{\left[(C*fd)+\left(\frac{H_2O}{1000} * \rho(H_2O)\right)\right]}{\rho(H_2O)} * 1000$$ (2) Volumen durante la maceración.

Donde C es la masa de cereal [kg], fd el factor de desplazamiento correspondiente al cereal, H_2O : el volumen de agua [L], y $\rho(H_2O)$ las densidades del agua [kg/m^3]. Para la mayoría de los cereales, el factor de desplazamiento se encuentra en el intervalo de 0.5 a 0.8.
Para realizar la mezcla (cereal molido – agua) en el macerador, es necesario calentar el agua hasta los 40 °C aproximadamente, ya que realizar la mezcla a una temperatura inferior sería un gasto de energía innecesario.

$$Q = m * C_p * \Delta T$$ (3) Cantidad de calor necesario.

Donde Q es el calor necesario, m : la masa a calentar, C_p : la capacidad calorífica a presión constante, y ΔT : la variación de temperatura.
La adición de cereales aumenta la masa (m) a calentar, y con esto aumentará considerablemente la cantidad de calor (Q) necesario.
El resto del proceso de maceración, luego de efectuar la mezcla de cereales con agua, varía mucho entre productores. En la Tabla 1 (Principales enzimas de los cereales malteados) se muestran las principales enzimas que contienen los granos del cereal malteado, su temperatura óptima y su función. La razón

por la que hay que variar la temperatura durante el proceso de maceración, radica totalmente en el contenido de la Tabla 1. Cuando deseamos que determinada enzima ejerza su función sobre el mosto, debemos aplicar calor hasta alcanzar la temperatura óptima de dicha enzima. Las enzimas de mayor interés son la β-amilasa (55-66 °C) y α-amilasa (68-72 °C) ya que producen maltosa y dextrinas respectivamente. El resto de las enzimas actúan entre los 30 y 55 °C. En la práctica, una vez que se añade el cereal molido al agua, se hacen pausas de 10 a 30 minutos en las temperaturas de la β-Glucanasa (35-45 °C) donde también actuarán la Fitasa y la Desramificante. Posteriormente se hace pausa (15 - 30 minutos) a la temperatura de la Peptidasa (45-55 °C) donde también actuará la Proteasa rompiendo las proteínas que forman turbidez. Luego, se hace una pausa prolongada (60 – 90 minutos) a la temperatura de 55 - 66 °C para que actúe la β-amilasa y se produzca maltosa. El reactivo Lugol, nos ayudará a conocer con exactitud cuando ha terminado el proceso desencadenado por la β-amilasa. (La preparación del reactivo Lugol y el método de determinación de amilosa y amilopectina se explican en el Laboratorio #2). Terminado este proceso, se eleva la temperatura hasta alcanzar los 68-72 °C, temperatura donde actuará la α-amilasa produciendo dextrinas. En este caso la temperatura se mantiene constante durante 15 – 30 minutos aproximadamente. Muchos productores industriales, luego de terminar el proceso de producción de dextrinas, añaden enzimas exógenas termoestables para aumentar el rendimiento de la maceración.

3.3 Filtración

Al terminar la maceración, el mosto azucarado se traslada hacia la cuba de filtración que dispone de un doble fondo con agujeros que permite separar el residuo (afrecho) del mosto. El afrecho debe ser lavado con una determinada cantidad de agua a 79 °C. La cantidad de agua necesaria para el lavado se calcula teniendo en cuenta la evaporación existente en el hervor, las pérdidas post-hervor, la cantidad de cerveza que se desea obtener y el grado Plato que debe tener el mosto al finalizar el hervor. A continuación se presenta un método de cálculo para determinar el agua necesaria para el lavado:

$V(f) = V_c * \frac{1}{1-fPPH(n)} * \frac{1}{1-fPPH(n-1)}$ (1) Volumen necesario al finalizar el hervor.

Donde V_c : volumen de cerveza que se desea producir y fPPH : fracción de pérdidas post-hervor (trasvases, filtración en frio, fermentación, maduración). En muchas industrias, se estiman valores de pérdidas por operación de un 2% (fPPH = 0.02). V_c debe ser multiplicado cuantas veces sea necesario por $\frac{1}{1-fPPH}$ (en orden regresivo [Ver ejemplo 1 de esta sección]), teniendo en cuenta la cantidad de pérdidas que presenta el proceso.

${}_{Inicial}^{0}P = \frac{m\,[kg] * (fR*100)}{V(f)}$ (2) Grado plato que se desea obtener tras el hervor.

Donde m : masa de cereal, R : rendimiento del cereal y V(f) : volumen obtenido usando la ecuación 1 de este método de cálculo.

$V(nh) = V_f * \frac{1}{1-fE_h}$ (3) Volumen necesario antes de comenzar el hervor.

Donde V_f : volumen obtenido usando la ecuación 1 de este método de cálculo y fE_h : fracción de evaporación en el hervor (de 0.045 a 0.07 por hora).

$V(lav) = V(nh) - V(pm)$ (4) Volumen necesario para el lavado.

Donde V(pm) : volumen del mosto tras la filtración.

Recuerde ajustar los volúmenes en los cálculos a la misma temperatura en caso que sea necesario.
Es recomendable tomar como valor para V(pm) el volumen real medido en el proceso, aunque se puede obtener una aproximación mediante la siguiente ecuación:

$$V(pm\,[L]) = (V[H_2O] * 0.98) - \left(\frac{C\,[kg]*0.8}{97.67}\right) * 100$$

Donde $V[H_2O]$: volumen de agua calculado usando la relación de empaste o volumen necesario para la maceración [L], C [kg] : cantidad de cereal usado en la maceración [kg].

3.4 Hervor

El hervor es el proceso donde se esteriliza el mosto y se añade el lúpulo para darle amargor y aroma a la cerveza. Los cálculos relacionados con este proceso fueron expuestos en este capítulo. Durante la ebullición (hervor) del mosto, las resinas del lúpulo pasan de la forma menos soluble (α-ácidos) a la forma más soluble (isocompuestos).

Los alfa-ácidos son una familia de resinas específicas del lúpulo, responsables de su amargor y otras propiedades. El amargor de un lúpulo se mide por el porcentaje que contiene de esta sustancia, que cambia de una cosecha a otra y según la variedad de planta. Éstas resinas son transformadas por altas temperaturas (100 ºC) (isomerización) durante el proceso de cocción del mosto en iso-alpha-ácidos, que son los responsables finales del amargor de la cerveza.
Los beta-ácidos son resinas similares pero con un poder de amargor muy pequeño. Sin embargo, estas resinas se pueden estropear fácilmente en presencia de oxígeno y generar sabores extremadamente desagradables.
Los Taninos y los aceites esenciales: Los taninos tienen propiedades clarificantes y bacterioestáticas (de gran importancia para la fermentación), mientras que los aceites esenciales son sustancias aromáticas fácilmente evaporables que dan las propiedades de sabor y olor a la flor del lúpulo, y por lo tanto también a la cerveza. En la elaboración de una cerveza pueden utilizarse combinaciones de diferentes lúpulos para utilizar las propiedades más notables de cada uno de ellos.

3.5 Filtración por centrifugación o sedimentación

Luego de finalizar el hervor, se separan del mosto los restos de lúpulo y proteínas. Este filtrado puede llevarse a cabo mediante por mecanismos de sedimentación o centrifugación. Luego, se disminuye la temperatura del mosto, dirigiendo el flujo del mosto hacia el o los recipientes de fermentación donde se añade la levadura. La temperatura a la que se debe enfriar el mosto depende del tipo de levadura que se utilice (de su intervalo de temperatura óptima). Antes de comenzar la fermentación, es importante preparar el mosto con una buena oxigenación (usando aire estéril), esto asegurará la reproducción de las levaduras (aumento de biomasa) una vez sean introducidas en el mosto.

3.6 Fermentación y temas relacionados

La levadura fermenta los azúcares en este orden: (1) monosacáridos, (2) sacarosa, (3) maltosa, (4) maltotriosa. La transferencia de la glucosa y fructosa ocurre por la conocida difusión, mientras que la transferencia de la maltosa y la maltotriosa exige un sistema de transporte activo (Harris y Basařova). Las enzimas del sistema de transporte de la maltosa no son constitutivas de la levadura y debe ser siempre inducida su biosíntesis al comienzo de la fermentación. La inducción de la biosíntesis de la maltoso-permeasa y maltotrioso permeasa y α-glucosidasa depende no solo de la cantidad total de azúcares en el mosto, sino principalmente de la proporción relativa de glucosa a maltosa. Cambios de esta relación a favor de la glucosa puede ocasionar la inhibición de la inducción de la biosíntesis de las enzimas hasta el tiempo en que terminó el crecimiento de la levadura, y cuando ya las sustancias nitrogenadas se establecen como factor limitante del crecimiento. En estas condiciones la levadura no puede utilizar la maltosa y maltotriosa completamente, porque en ella no se puede formar suficiente cantidad de enzimas para el transporte e hidrólisis de la maltosa. Este caso ocurre generalmente durante la elaboración de mosto con excesiva sustitución de malta por sacarosa (Bendova).

Como la invertasa (β-fructofuranosidasa) pertenece a las enzimas constitutivas de las células, la sacarosa se fermenta antes que la maltosa. Es conocido que la síntesis inducida de las glucosidasa es reprimida por la glucosa presente en el sustrato. Elevada adición de sacarosa prolonga la duración de la represión, por la actividad de la invertasa que hidroliza la sacarosa a glucosa y fructosa. Durante una prolongada duración de la represión se necesita mayor cantidad de aminoácidos libres del mosto para formar masa de levadura, tal que para la síntesis de la maltosopermeasa y maltasa no existe en el mosto los aminoácidos requeridos y por eso se necesita en parte aminoácidos intracelulares. Esta reserva disminuye progresivamente con el número de fermentaciones y gradualmente ofrece dificultades en el proceso de fermentación. Se incrementa la diferencia entre la fermentación aparente y la alcanzable, la

cerveza es menos saturada de CO_2 y son propensas a la oxidación. En la cerveza se mantiene un saborcillo a cerveza joven y un indeseable aroma a compuestos volátiles (Bendova).

La hidrólisis de la maltosa la cataliza la α-glucosidasa la cual pertenece también a las enzimas inducidas. Algunos autores consideran como frontera limitante de concentración de nitrógeno α-amino 150 a 200 mgl^{-1}, mientras que según Cuřin no debe ser menos de 200 mgl^{-1}. Un valor de 150 mg/ L de aminoácidos libres determinados por el procedimiento de la ninhidrina parece ser generalmente aceptado como el valor mínimo en el mosto para una buena fermentación.

Basařova, estableció como concentración de amino nitrógeno por el método del TNBS (trinitro benceno sulfónico) los siguientes límites:

10 % mosto de malta 150 – 180 mgl^{-1}
10 % mosto adicionado de azúcar 130 – 150 mgl^{-1}
12 % mosto de malta 220 – 250 mgl^{-1}
La correcta composición del mosto se puede juzgar también según la relación azúcares a nitrógeno asimilable (Haukeli).
Para las cervezas checas, Basařova encontró estas óptimas relaciones:

$$\frac{azúcares\ fermentables}{Nitrogeno\ total} = 70 - 75 \qquad \frac{azúcares\ fermentables}{Nitrogeno\ aminico} = 340 - 350$$

La levadura utiliza los compuestos nitrogenados del mosto para sintetizar sus sustancias celulares. Como promedio, la levadura utiliza 10-14 mg de amino nitrógeno en forma de aminoácidos y pequeños péptidos por 100 mL de mosto.
Por otra parte se reporta una relación directa del contenido de nutrientes nitrogenados con el contenido de alcoholes superiores.

Productos secundarios de la fermentación y su influencia en la calidad de cerveza.
Del gran número de metabolitos que se forman en la fermentación de la cerveza, tienen una mayor influencia y son también en la práctica, notables los alcoholes superiores, ésteres, ácidos orgánicos, aldehidos, diacetilo, butanodiol y los compuestos de azufre.
Alcoholes superiores.
Según las indicaciones contemporáneas, la cerveza contiene como media de 60 a 77 mg/ L de alcoholes superiores, según otros, 91 mg/ L. Su formación depende del metabolismo de la levadura, lo cual lo fija en gran medida en tipo de sustancia nitrogenada y el tipo de azúcar fermentable. Si las fuentes de nitrógeno son los aminoácidos, leucina, isoleucina y valina, se transforma el 80% de ella en alcoholes superiores.
Hough y Steven comprobaron diferencias entre la formación de alcoholes superiores y la raza de levadura, composición del mosto, la temperatura y el curso de la fermentación. Igraham comprobó que los alcoholes superiores se forman también en las células durante la fermentación si no hay aminoácidos presentes.
Drews y colaboradores comprobaron que durante la fermentación principal, a mayores temperaturas (máximo 12 °C) la cerveza terminada contiene mayor concentración de alcoholes superiores que a bajas temperaturas de fermentación.

Butanol-2 (alcohol butílico secundario)
Según Harrison, el butanol-2, es percibido en el sabor desde 5 mg/L, mientras que la mayor parte de los otros alcoholes alifáticos no son percibidos en concentraciones por debajo de 50 a 100 mg/L.

La formación del alcoholes superiores, ésteres, aldehídos, acetona, diacetilo y compuestos azufrados es influenciado por la composición del mosto con las condiciones tecnológicas (temperatura, contenido de nitrógeno soluble) en el mosto, agitación, adición y tipo de levadura.

Los alcoholes superiores se encuentran en una segura relación con el contenido de nutrientes nitrogenados en el mosto, un exceso de nitrógeno utilizable ofrece tendencia a reprimir la formación de alcoholes superiores. En la cerveza normalmente se encuentran estos alcoholes superiores: n-propanol, 2 metil propanol, 3 metil butanol y 2 metil butanol. La cantidad total de alcoholes en diferentes cervezas varía en un amplio rango, de 55 a 160 mg/L.
El grado de biosíntesis de alcoholes superiores depende del consumo de nitrógeno utilizable, la adición de levadura y de la concentración de azúcares en el sustrato. De estos, los más importantes son los pentanoles. La formación de alcoholes superiores lo promueve las mayores temperaturas de fermentación y la insuficiencia de amino ácidos en el mosto.
Se ha reportado que cada disminución del nivel de nutriente nitrogenado en el mosto va unido al incremento de la producción biosintética de alcoholes superiores. Cuanto mayor es el tiempo de fermentación sin nitrógeno, tanto mayor es la producción de alcoholes superiores. Generalmente se puede constatar que con la disminución del contenido de sustancias nitrogenadas y el crecimiento de la fracción de sacáridos del mosto, la formación total de alcoholes superiores y ésteres, primeramente se incrementa hasta un máximo valor. Después de alcanzar ese máximo, otro crecimiento de la fracción de sacáridos produce entonces la disminución del contenido total de alcoholes superiores y ésteres.
Entre los efectos negativos provocados por el empleo de grandes proporciones de sacarosa Äyräpää plantea que la proporción de alcoholes superiores se vea incrementada por un factor de 2 a 3 después del agotamiento del nitrógeno, lo que fue demostrada en una serie de trabajos previos (7,13).
La reducción del contenido de nitrógeno se manifiesta en una degeneración más rápida de la levadura.
Otros autores hacen referencia a pérdidas de sustancias amargas e indeseables influencias sobre la estabilidad de la espuma.
Engang realizó fermentaciones en iguales condiciones con mosto de todo malta, de extracto original 10,9º Balling y con mezclas de este mosto con soluciones al 10% de azúcar (glucosa, fructosa, sacarosa y maltosa) y determinó la concentración de ésteres y alcoholes superiores para cada mezcla y el patrón.

Las mezclas realizadas correspondieron a las siguientes preparaciones:
100% Mosto ; 95% Mosto y 5 % solución de azúcar ; 87,5% Mosto y 12,5 % solución de azúcar.
75,0% Mosto y 25% ; 50% Mosto y 50% ; 25% Mosto y 75%

Este autor muestra como resultado, que la formación de los alcoholes superiores y ésteres es afectada cuando se incrementa la composición del mosto en azúcares a excepción del acetato de etilo, en el cual es poco influenciada.
Jenard y Devreux, reportaron que la fermentación de varias combinaciones del mosto y solución de sacarosa por la misma levadura, tiende a la formación de alcoholes superiores al final de la fermentación como sigue.

Sustrato	Alcoholes superiores p.p.m
Mosto de 11,2 ºP	88
75% mosto + 25% sacarosa	96
50% mosto + 50% sacarosa	156
25% mosto + 75%	200
Sacarosa	150

Alcoholes aromáticos
Además de los alcoholes alifáticos en la cerveza se encuentran también alcoholes aromáticos. El alcohol aromático más importante es el 2- feniletanol, debido a que se hace sentir en el sabor y también en la actividad fisiológica (es muy embriagador). Los otros dos alcoholes (triptofol y tirosol) no alcanzan durante la fermentación tanta concentración como el 2- feniletanol. La formación de alcoholes aromáticos depende de las propiedades de la cepa de levadura utilizada y de la relación de azúcares fermentables / nitrógeno asimilable. El grado de formación de 2- feniletanol fue hallado directamente proporcional al grado de asimilación de azúcares del medio y la cantidad encontrada depende principalmente de la cantidad de nitrógeno asimilable en relación con la cantidad de azúcares fermentables disponibles.

Los alcoholes aromáticos tienen mayor influencia sobre el sabor y el olor de la cerveza, que los alcoholes alifáticos. Stevens señala al beta feniletanol cuyo olor recuerda a las rosas, como cuantitativamente el más sobresaliente de los alcoholes aromáticos. Halló en cerveza "lager" de 8 a 15 mg/L. Su contenido depende fundamentalmente de la cantidad de nitrógeno asimilable y de la cantidad de azúcar que hay a disposición durante la fermentación.
Al final de la fermentación, cuando se expulsa al medio cantidades medibles de nitrógeno de la levadura, no se forma nada de beta feniletanol.
Drews, y colaboradores hallaron en cervezas alemanas de 10,86 hasta 16,89 mg/ L, en cerveza tipo Pilsen 8,28 hasta 18,91 mg/ L, mediante mosto elaborado con adjunto de 22,74 hasta 23,83 mg/ L, en cervezas elaboradas por sistema intensivo 34,87 hasta 43,95 mg/L.

Triptofol
Mc Farlane y colaboradores hallaron en cerveza relativamente mucho triptofol. Su formación depende de la prolongación de la fermentación y durante el reposo se desintegra fuertemente. El teriptofol tiene un ligero amargor y sabor picante; su contenido en la cerveza varía entre 0,16 y 10 mg/L

Tirosol
Tiene según estos autores sabor fuertemente amargo y olor fenólico. Origina un sabor amargo de levadura en la cerveza que fermentó con deficiencias. Su contenido aparece entre 4 y 10 mg/ L. La cerveza de producción intensiva contiene considerablemente más.
La malta de cebada que se utiliza en la elaboración de cerveza contiene de 9,0 a 10,5% de proteína, de las cuales pasan en forma soluble como amino ácidos y péptidos aproximadamente 30%, lo que significa que en el cereal sometido a hidrólisis enzimática durante la maceración queda alrededor de 70% del nitrógeno que no es solubilizado en el mosto.
En aquellos casos que se emplean altas proporciones de adjunto se recomienda la adición de complejos enzimáticos para reforzar la acción hidrolítica. La Neutrase es una proteasa aplicable en la mayoría de los casos en que deba degradarse de manera moderada o extensiva una sustancia proteica en péptido.
Los cálculos relacionados con el proceso de fermentación fueron analizados en este capítulo.

3.7 Maduración

Una vez que la fermentación ha concluido, la cerveza verde se trasvasa a otros recipientes, eliminando la levadura y los restos de la fermentación que se han depositado en el fondo del fermentador. Durante este tiempo de almacenaje, continúan las reacciones químicas de las sustancias orgánicas contenidas en la cerveza. Los sabores y aromas maduran, se "entremezclan" entre sí de forma que se crea un espectro aromático más uniforme.
Estos tanques de almacenaje (recipientes de maduración) están bajo presión, para que durante la fermentación que continúe produciéndose, el CO_2 generado se vaya disolviendo en la cerveza y no se volatilice y se pierda en el aire. Cuanto más baja sea la temperatura mayor será la disolución de CO_2 en la cerveza y la sedimentación de las proteínas y levaduras para su posterior eliminación. Estos recipientes de almacenamiento suelen estar colocados de forma horizontal para facilitar la precipitación disminuyendo la distancia desde el nivel superior del líquido hasta el fondo del tanque.

3.7 Filtración y carbonatación

Después del período de maduración y antes del embotellamiento, la cerveza se somete nuevamente a un proceso de filtración que elimina los últimos restos de partículas que puedan quedar de la maduración; materias insolubles. La cerveza aún conserva cierto grado de turbidez, siendo necesario pasarla por un sistema de filtración para darle el brillo y la transparencia con que la observamos al momento de servirla.
Filtros recientes fueron diseñados con placas microporosas con auxiliares filtrantes como la tierra de diatomáceas que garantizan mayor calidad en la filtración. La cerveza filtrada se va depositando en tanques de almacenamiento presurizados para evitar pérdida en los gases disueltos. En los tanques de almacenamiento post-filtración se le añade a la cerveza gas carbónico y otras sustancias según las intenciones de los fabricantes.
La cerveza filtrada y carbonatada puede ser envasada en barriles que luego son enviados a las tabernas para su consumo inmediato. En estas condiciones la cerveza debe ser consumida dentro de las próximas

24-48 horas debido a su desprotección microbiológica, pues se trata de un producto que no ha sido pasteurizado y corre el peligro de contaminación por bacterias.

EJERCICIOS RESUELTOS

Ejemplo 1 Cálculo de un proceso de producción (atendiendo a lo expuesto en el análisis teórico - matemático).

Se desean elaborar 150 L de mosto con 13 °P usando cebada exclusivamente.
a) Calcule la cantidad de agua necesaria para el proceso de maceración, el volumen durante la maceración (cuando la temperatura es de 50 °C) y el agua necesaria para el lavado.
Datos: Se conoce que la evaporación es de un 9% y que se efectuarán un grupo de operaciones tras el hervor obteniendo las siguientes pérdidas:

Operación	Pérdida
Centrifugación	2 %
Fermentación	3 %
Maduración	2 %
Carbonatación	2 %
Envase en barriles	2 %

El factor de desplazamiento de la cebada malteada usada es igual a 0.75.

Solución.
La cantidad de agua necesaria se calcula usando la relación de empaste:

$$V(l) = C(kg) * 4\left[\frac{L}{kg}\right]$$

La cantidad de cereal necesaria no se conoce, pero se conoce que la cerveza debe estar compuesta exclusivamente de cebada y que el °P necesario es igual a 13. Para ajustar el grado plato y obtener la cantidad de cebada necesaria, debemos conocer el volumen final (volumen al finalizar el hervor).
Como en el problema no nos dicen a que temperatura está el volumen de 150 [L] asumimos una temperatura, en este caso elegimos 20 °C (pudiera ser cualquier otra, siempre que sea una temperatura lógica y facilite sus cálculos).

$$V(f) = V_c * \frac{1}{1-fPPH(n)} * \frac{1}{1-fPPH(n-1)} = 150\,[L] * \frac{1}{1-0.02} * \frac{1}{1-0.02} * \frac{1}{1-0.02} * \frac{1}{1-0.03} * \frac{1}{1-0.02} = 167.65\,[L]\ a\ 20\ °C$$

(c.1) Cálculo del volumen necesario al finalizar el hervor usando la ecuación 1 (sección 3.3).
Mediante la ecuación de °P inicial es posible determinar la cantidad de necesaria de cebada:

$$_{Inicial}^{0}P = \frac{m * (R*100)}{V(f)} \text{ - despejando – } m = \frac{_{Inicial}^{0}P * V(f)}{R*100} = \frac{13\ °P * 167.65\,[L]}{0.76*100} = 28.67\,[kg]$$

(c.2) Cálculo de la masa de cereal necesaria usando la ecuación 2 del método de cálculo 1.
Habiendo calculado la masa de cebada malteada necesaria es posible determinar el agua necesaria en el proceso de maceración por la ecuación citada al comienzo de la solución de este ejemplo.

$$V(l) = C(kg) * 4\left[\frac{L}{kg}\right] = 28.67\,[kg] * 4\left[\frac{L}{kg}\right] = 114.6\,[L] \text{ a } 28\ °C \text{ y } \approx \text{ a } 20\ °C$$

(c.3) Cálculo del agua necesaria para la maceración, suponiendo que el agua que se usará para el empaste (4 L/kg) tendrá una temperatura de 28 °C.
R1/La cantidad de agua necesaria para la maceración equivale a 114.6 [L] a 28 °C.

El volumen durante la maceración se puede calcular por la ecuación 2 (sección 3.2).

$$V(L) = \frac{\left[(C*fd)+\left(\frac{H_2O}{1000}*\rho(H_2O \text{ a } 28\ °C)\right)\right]}{\rho(H_2O \text{ a } T_2)} * 1000 = \frac{\left[(28.67\ kg*0.75)+\left(\frac{114.6\ L}{1000}*996.27\frac{kg}{m^3}\right)\right]}{\rho(H_2O \text{ a } 50\ °C)} * 1000 = \left(\frac{135.67 kg}{998.07\frac{kg}{m^3}}\right) * 1000 =$$

135.9 [L] a 50 °C.
(c.4) Cálculo del volumen durante la maceración a 50 °C.
R2/ El volumen durante la maceración, cuando la temperatura es de 50 °C, es de 135.9 [L].

Para calcular el agua necesaria para el lavado se usa la ecuación 4 (sección 3.3):

$V(lav) = V(nh) - V(pm)$
Donde hay que determinar el volumen necesario para el hervor V(nh) y el volumen del mosto tras la filtración V(pm).

$V(nh) = V_f * \frac{1}{1-fE_h} = 167.65\ [L] * \frac{1}{1-0.09} = 184.23\ [L]\ a\ 20\ °C$ Ecuación 3 (sección 3.3)

(c.5) Cálculo del volumen necesario para el hervor a 20 °C. El resultado se muestra a esta temperatura ya que Vf (167.6 [L]) fue calculado a 20 °C en el c.1 de este ejemplo.

$V(pm\ [L]) = (V[H_2O] * 0.98) - \left(\frac{C\ [kg]*0.8}{97.67}\right) * 100 = (114.6\ [L] * 0.98) - \left(\frac{28.67\ [kg] * 0.8}{97.67}\right) * 100 = 88.82\ [L]\ a\ 28\ °C \approx 20\ °C$

(c.6) Cálculo del volumen luego de la filtración a $28\ °C$.

Ahora es posible usar la ecuación 4 (sección 3.3):

$V(lav) = V(nh) - V(pm) = 184.23\ [L] - 88.82\ [L] = 95.41\ [L]\ a\ 20\ °C$

(c.7) Cálculo del volumen necesario para el lavado.

Como en el lavado se usa agua a 79 °C se impone una conversión ya conocida:
La masa de estos 95.41 [L] (0.09541 [m^3]) es igual a: $\rho = \frac{m}{v}$ -despejando- $m = \rho(H_2O\ a\ 20\ °C) * v = 998.23[\frac{kg}{m^3}] * 0.09541\ [m^3] = 95.24\ [kg]$
Para conocer el volumen de agua necesario a 79 °C, volvemos a usar la ecuación de densidad, pero esta vez con la densidad del agua a 79 °C: $\rho = \frac{m}{v}$ -despejando- $v = \frac{m}{\rho} = \frac{m}{\rho(H_2O\ a\ 79\ °C)} = \frac{95.24\ kg}{971.83\frac{kg}{m^3}} = 0.0980\ m^3 = 98\ [L]$

(c.8) Conversión del volumen del lavado de 20 °C a 79 °C.

R3/ El volumen aproximado de agua necesaria para el lavado es igual a 98 [L] a 79 °C.

Aclaraciones: Los volúmenes se trabajan a 20 °C, aunque en algunos momentos, en la realidad del proceso, el líquido no se encuentre a esa temperatura: durante los cálculos del proceso de hervor (c.5), se trabaja con los volúmenes a 20 °C, cuando en realidad se encuentran a 100 °C (≈). Anteriormente explicamos, que no se podían sumar y restar volúmenes que no se encontraran a la misma temperatura, esto es matemáticamente cierto, pero una suma de volúmenes en el cálculo, en la práctica equivaldría a una mezcla, y si se pueden mezclar líquidos aunque tengan diferentes temperaturas. Para calcular el volumen luego de una mezcla, como la que ocurre en la filtración cuando lavamos el afrecho (se mezcla el mosto a una T_1, con el agua a 79 °C), se necesita conocer las temperaturas y los volúmenes de ambos líquidos, para luego calcular la temperatura final. Aunque este procedimiento lo veremos en la sección de cálculo energético, es importante aclarar que el método que usamos en nuestros ejemplos es totalmente correcto, solo que implica una conversión para que ambos volúmenes se encuentren a la misma temperatura, entonces, el criterio de la temperatura final de la mezcla, aquí no es necesario, pues cuando se mezclan dos líquidos a la misma temperatura, la temperatura final es equivalente a la que poseían ambos líquidos antes de la mezcla (despreciando algunos factores de menor importancia).

Ejercicios S. 3.0 (Cálculos de maceración, lavado de afrecho y evaluación de pérdidas)

1. Se realiza un lavado de afrecho con 98 [L] de agua a 20 °C. Se conoce que el mosto resultante tras la filtración tiene un volumen de 101 [L] a 20 °C y el °P del mismo es igual a 22.
a) Calcule el grado Plato (al finalizar el lavado) de la forma más exacta posible. Exprese el resultado a 76 ºC.

2. Se tiene un mosto de 105 [L] a 42 °C, en el instante en que se añaden 26.12 [kg] de cebada.
a) Calcule el volumen en la maceración, suponiendo que la temperatura se mantiene constante en el momento de la mezcla (42 °C).

3. Se desean obtener al final de un hervor 52.5 [L] a 20 °C de mosto. Si la evaporación total en el hervor es de un 7.5 %:
a) Calcule el volumen necesario para el hervor.
b) Si el volumen tras el hervor (52.5 [L]) sufre un grupo de pérdidas (ver abajo), ¿cuál será el volumen resultante luego de concretarse todas las operaciones (volumen tras la maduración)?

Operación	Pérdida
Centrifugación	2 %
Fermentación	3 %
Maduración	2 %

4. Se conoce que la evaporación de un mosto durante el hervor es de un 7 %. Las pérdidas por operación son idénticas a las citadas en el ejercicio 3. El volumen obtenido tras la maduración es de 0.3001 [m^3].

a) Calcule el volumen a 20 °C al comienzo del hervor.

Problema de desafío integrador de secciones 2 y 3:
Una industria cervecera ha realizado una investigación de mercado y determinó que sus consumidores prefieren una cerveza de alto grado alcohólico. Se desea realizar una producción de prueba de 120 [L] de cerveza con 8 % de alcohol (% volumen) usando cebada malteada exclusivamente.
a) Calcule la cantidad de cebada necesaria.

Datos:
Suponga que la cebada posee un 64% de sólidos solubles fermentables y su rendimiento es de un 75 %.
La evaporación en el hervor es de un 9.9% y las pérdidas por operaciones son las siguientes:

Operación	Pérdida
Centrifugación	1.94 %
Fermentación	3.10 %
Maduración	2.60 %
Carbonatación	2.70 %
Envase en barriles	2.12 %

Laboratorio #2

Preparación del reactivo Lugol y método de determinación de amilosa y amilopectina.

1. Objetivos

1.1 Preparación del reactivo Lugol
1.2 Método de determinación de amilosa y amilopectina.

2. Teoría

El Lugol o solución de Lugol, es una disolución de yodo molecular I_2 y yoduro potásico KI en agua destilada. Fue preparada por primera vez en 1829 y nombrada en honor al médico francés J.G.A. Lugol. Se utiliza esta disolución como indicador en la prueba del yodo, que es utilizada para identificar polisacáridos como los almidones, glucógeno y ciertas dextrinas.

El proceso de maceración, dura aproximadamente 60 minutos. Pero el tiempo no garantiza que este se ha efectuado completamente. Debemos aplicar la prueba del Yodo, para determinar el final (relativo) de la maceración.
Las enzimas hidrolizan al almidón de distintas maneras. El almidón se encuentra en los granos de dos formas diferentes: amilosa y amilopectina.
La amilosa, es una molécula lineal de monómeros de glucosa unidos mediante enlaces de tipo α 1-4, que a temperatura ambiente, forman una espiral por donde se puede introducir el yodo y formarse un complejo de color azul negruzco.
La amilopectina, también es un polímero de glucosa, pero de mayor tamaño. La mayoría de los enlaces son α 1-4, pero también existen puntos de ramificación, en donde son α 1-6. Prácticamente no reacciona con el yodo.

3. Materiales (m)

3.1 5 [g] de yodo molecular I_2.
3.2 10 [g] de yoduro potásico KI.
3.3 85 [mL] de agua destilada.
3.4 Beaker de 100 [mL] limpio.
3.5 Agitador de cristal limpio.
3.6 Recipiente limpio de 100 [mL] con gotero en la tapa.
3.7 Tubo de ensayo de 10 [mL]
3.8 Pipeta automática de 1 [mL] con una punta limpia.

Técnica operatoria de la preparación del Lugol:
1.0) Añadir al beaker (m.3.4) los 85 [mL] de agua destiltada (m.3.3).
2.0) Disolver 10 [g] de yoduro potásico (m.3.2) en los 85 [mL] de agua destilada con la ayuda del agitador de cristal (m.3.5).
3.0) Disolver los 5 [g] de yodo (I_2) (m3.1) en la disolución elaborada en el Paso 2 con la ayuda del agitador de cristal (m.3.5), obteniéndose una disolución marrón con una concentración total de 150 [mg/mL] de yodo (Lugol).
4.0) Trasvasar el Lugol al recipiente de 100 [mL] (m.3.6) (recipiente con gotero en la tapa).

Técnica operatoria para la determinación de amilosa y amilopectina en el mosto:

1.0) Añadir 1 [mL] de mosto en el tubo de ensayo de 10 [mL] (m.3.7) con la ayuda de la pipeta automática.
2.0) Añadir dos gotas (usando el gotero del recipiente que contiene el Lugol (m.3.6)) en el tubo de ensayo que contiene la muestra de mosto (tomada en el paso 1).
3.0) Observar el color luego de añadir el Lugol: si la mezcla (Lugol + Mosto) se torna azul negruzca, se puede asegurar la presencia de amilosa e inferir la presencia de amilopectina; si la mezcla (Lugol + Mosto) toma un color naranja-rojizo claro, es señal que los almidones (amilosa y amilopectina) han sido transformados en azúcares más simples y su presencia en el mosto es relativamente baja.
4.0) Deseche cuidadosamente el contenido del tubo de ensayo, pues el Lugol pudiera resultar tóxico.

Es recomendable, al detectar mediante la prueba del Lugol que los almidones han sido degradados, mantener por algunos minutos constante la temperatura de maceración para asegurar la degradación total de la amilosa y la amilopectina.

5. Cálculo energético en el proceso

Cálculo, balance y análisis energético en el proceso de producción de cerveza.

Teoría:

Dedicaremos esta sección al balance y cálculo energético de los subprocesos más importantes del proceso de producción de cerveza (maceración, hervor y enfriamiento). El balance energético es uno de los aspectos más importantes en la producción de cualquier producto, si se tiene en cuenta el elevado precio del combustible a nivel internacional.

Ecuaciones usadas para el cálculo energético en el proceso de producción de cerveza:

$$T_m = \left[\frac{m_1 * C_{p1}(T_1 - T_2)}{(m_1 + m_2) * C_{pm}}\right] + T_2$$

(1) Temperatura de la mezcla (°C).

$$C_p = \frac{h}{100} + 0.2\left[\frac{100 - h}{100}\right]$$

(2) Calor específico [kcal/kg.°C] de una disolución azucarada.

$$E = \frac{V}{1000} * f_c * \rho * C_p * (T_1 - T_2) * \frac{1}{\eta} * \frac{1}{860}$$

(3) Consumo de energía en la refrigeración [kw-h]

$$Q_{Total} = Q_{Equipos} + Q_{Proceso} + Q_{Perdido}$$

(4) Calor total en el proceso.

$$Q_{Equipo} = m_{equipo} C_p \Delta T$$

(5) Calor requerido para calentar un equipo.

$$Q_{Proceso} = \sum \text{calores sensibles} + \sum \text{calores en cambio de fase}$$

(6) Calor en el proceso como la suma de las sumatorias de los calores sensibles y los calores en cambios de fase.

$$Q_{sensible} = mC_p \Delta T$$

(7) Calor necesario para el aumento de la temperatura (calor sensible) [kcal].

$$Q_{\text{cambio de fase}} = mC_l$$

(8) Calor necesario para el cambio de fase [kcal].

$$Q_{perdido} = \sum \text{Pérdidas}$$

(9) Calor perdido.

$$Q = h_a A_T (T_s - T_a) * t$$

(10) Calor perdido al ambiente [J].

$$h_a = 9.77 + 0.07(T_s - T_a)^{0.25}$$

(11) Coeficiente combinado de transferencia de calor ($T_s < 150$ ºC) [W/m².K].

Donde:

m	Masa total [kg].
C_p	Calor específico a presión constante.
ΔT	Variación de temperatura.
m_1	Masa del líquido 1 [kg].
m_2	Masa del líquido 2 [kg].
C_{p1}	Calor específico a presión constante del líquido 1 [cal/kg.ºC].
C_{pm}	Calor específico a presión constante de la mezcla [kcal/kg.ºC].
T_1	Temperatura del líquido 1 [ºC].
T_2	Temperatura del líquido 2 [ºC].
h	Humedad [%].
η	Eficiencia de la máquina.
V	Volumen de líquido a enfriar [L].
f_c	Factor de contracción del líquido a enfriar.
ρ	Densidad del líquido a enfriar [kg/m³]
C_l	Calor latente de vaporización.
T_s	Temperatura superficial [ºC].
T_a	Temperatura ambiental [ºC].
A_T	Área total de la transferencia de calor.
t	Tiempo [s]
$\frac{1}{860}$	Factor de conversión de kcal a kw-h.

Conceptos

Conceptos relacionados con cálculo y balance energético.

Energía térmica:
Se denomina energía térmica a la energía liberada en forma de calor. Puede ser obtenida de la naturaleza o del sol, mediante una reacción exotérmica, como la combustión de algún combustible; por una reacción nuclear de fisión o de fusión; mediante energía eléctrica por efecto Joule o por efecto termoeléctrico; o por rozamiento, como residuo de otros procesos mecánicos o químicos. Asimismo, es posible aprovechar energía de la naturaleza que se encuentra en forma de energía térmica, como la energía geotérmica o la energía solar fotovoltaica.

Calor específico:
El calor específico es una magnitud física que se define como la cantidad de calor que hay que suministrar a la unidad de masa de una sustancia o sistema termodinámico para elevar su temperatura en una unidad (kelvin o grado Celsius).

Calor sensible:
Calor sensible es aquel que recibe un cuerpo y hace que aumente su temperatura sin afectar su estructura molecular y por lo tanto su estado. En general, se ha observado experimentalmente que la cantidad de calor necesaria para calentar o enfriar un cuerpo es directamente proporcional a la masa del cuerpo y a la diferencia de temperaturas. La constante de proporcionalidad recibe el nombre de calor específico.

Calor de cambio de fase (calor latente):
El calor latente o el calor de cambio de estado es la energía requerida por una sustancia para cambiar de fase, de sólido a líquido (calor de fusión) o de líquido a gaseoso (calor de vaporización).Se debe tener en cuenta, que esta energía en forma de calor se invierte para el cambio de fase y no para un aumento de la temperatura; por tanto al cambiar de gaseoso a líquido y de líquido a sólido se libera la misma cantidad de energía.

Factor de contracción:
El factor de contracción es la fracción que se contrae un líquido cuando es sometido un proceso de enfriamiento. La Tabla 1 muestra algunos factores de contracción para el agua; estos factores pueden ser aplicados a la cerveza durante el proceso de enfriamiento.

Tabla 1. Algunos factores de contracción

Enfriamiento (°C)	Contracción	
$T_1 - T_2$	%	Factor
100 – 20	4.00	0.9600
100 – 28	3.80	0.9620
76 – 20	2.35	0.9765
76 – 28	2.15	0.9785
45 – 20	0.76	0.9924
45 – 28	0.56	0.9944

Calculado por: Table 290 “Smithsonian Physical Tables,” 9th rev; ed., Washington, D.C., 1954.

Los factores de contracción fueron calculados usando la siguiente ecuación:
$f_c = 1 - \frac{\rho\left[\frac{kg}{m^3}\ a\ T_2\right]}{1000} - \frac{\rho\left[\frac{kg}{m^3}\ a\ T_1\right]}{1000}$ (Determinación del factor de contracción usando las densidades del agua Tabla 1 (Anexos); donde $T_2 < T_1$).

EJERCICIOS RESUELTOS

Ejemplo 1 Calor necesario en el proceso de maceración.

Se desea elevar la temperatura de un mosto recién filtrado, cuya masa es igual a 120 [kg], desde 80 ºC hasta 100 ºC. Se conoce que la densidad del mosto a 20 ºC = 1048 [kg/m^3].
a) Calcule la cantidad de calor necesario para elevar la temperatura.

Solución.
La ecuación para calcular el calor necesario para elevar la temperatura de T_1 a T_2 es:
$Q_{sensible} = mC_p\Delta T$
En este caso, conocemos la masa (120 [kg]) y la variación de temperatura (de 80 ºC a 100 ºC), pero desconocemos el valor del calor específico a presión constante (C_p). Este valor puede ser determinado aproximadamente mediante la humedad del mosto por la ecuación:
$C_p = \frac{h}{100} + 0.2\left[\frac{100-h}{100}\right]$
Conociendo el valor de la densidad, es posible determinar la humedad aproximada del mosto:
$h = 100 - ºP$ (14) Humedad aproximada del mosto.

$$°P = -\frac{259000}{\rho} + 259 = -\frac{259000}{1048[\frac{kg}{m^3}]} + 259 = 12\ [°P]$$
(c.1) Cálculo de ºP aproximado.

$$h = 100 - °P = 100 - 12\ °P = 88\%$$
(c.2) Cálculo de la humedad aproximada.

$$C_p = \frac{h}{100} + 0.2\left[\frac{100-h}{100}\right] = \frac{88}{100} + 0.2\left[\frac{100-88}{100}\right] = 0.904\ [\frac{kcal}{kg*ºC}]$$
(c.3) Cálculo de la capacidad calorífica a presión constante.

$$Q_{sensible} = mC_p\Delta T = 120\ [kg] * 0.904\ \left[\frac{kcal}{kg*ºC}\right] * (100\ ºC - 80\ ºC) = 2169.6\ [kcal]$$
(c.4) Cálculo del calor necesario para elevar la temperatura desde los 80 ºC hasta los 100 ºC.

Ejemplo 2 Calor necesario en el proceso de hervor y pérdidas al ambiente.

Se desea iniciar un proceso de hervor sobre un mosto de 35 [kg]. El mosto se encuentra a 100 ºC y a una presión atmosférica. El tiempo de hervor será de una hora (60 minutos).
a) Calcule la cantidad de calor necesario si la evaporación horaria en el tacho es de un 6 %.
b) Calcule las pérdidas de calor al ambiente si se conocen las siguientes características del equipo:

Características	Valor numérico
Geometría	Tanque cilíndrico
Área total de transferencia de calor del equipo	0.5589 [m^2]
Temperatura superficial durante el hervor	98 ºC

*Notas:
La temperatura ambiental es de 25 ºC.
La fuente de calor usada es una resistencia eléctrica que se encuentra sumergida en el mosto.

Solución del inciso a:
El calor necesario para la evaporación en el hervor está dado por:
$Q_{\text{cambio de fase}} = mC_l$ donde el calor latente (C_l) de vaporización del agua es igual a 540 $[\frac{kcal}{kg}]$.
Se conoce que la evaporación horaria en el tacho es de un 6%; $(35\ [kg] * 0.06 = 2.1\ [kg])$, al ser el tiempo de hervor de una hora, la masa total a evaporar es igual a 2.1 kg.

$$Q_{\text{cambio de fase}} = mC_l = 2.1\ kg * 540\frac{kcal}{kg} = 1134\ kcal = 4748\ kJ$$

(c.5) Cálculo del calor necesario en la evaporación.

R/ El calor necesario en la evaporación es igual a 4748 [kJ].

Solución del inciso b:
Para la solución de este problema hay que realizar un análisis de lo que sucede en el proceso.
Primeramente, nos informan que la fuente de calor (resistencia eléctrica) se encuentra sumergida en el mosto, por lo que el calor se transfiere desde el interior del equipo de maceración, hasta el exterior. El equipo trabaja a presión atmosférica, lo que quiere decir, que la temperatura de ebullición será aproximadamente 100 ºC (temperatura de ebullición del agua a presión atmosférica). Es conveniente aclarar, que aunque los mostos estén compuestos de agua en gran parte, la temperatura de ebullición no es exactamente la del agua a una presión determinada. Sucede, que la presencia de solutos en el seno de la solución influye en el punto de ebullición, aumentándolo con respecto al del agua pura. Otro factor que influye es la altura del líquido sobre la superficie de calentamiento, factor que carece de importancia en la industria (recordar que la resistencia sumergida en el mosto no es un método de calentamiento usual). En este problema, no tendremos en cuenta el aumento del punto de ebullición por la presencia de solutos, usaremos como referencia el del agua pura.
Analizados algunos aspectos, podemos concluir que la temperatura en la superficie del recipiente no excederá los 100 ºC, ya que el agua no puede alcanzar una temperatura superior a su punto de ebullición. Está notificado en el problema, que la temperatura superficial es de 98 ºC. La temperatura superficial puede ser calculada por la transferencia de calor o medida experimentalmente. Esta depende del radio exterior e interior, de la conductividad térmica del material de construcción y otras.

Para conocer las pérdidas al ambiente es necesario aplicar la siguiente ecuación:
$Q = h_a A_T (T_s - T_a) * t$
Aquí se desconoce el coeficiente combinado de transferencia de calor, calculable mediante la siguiente ecuación, recordando que Ts = 98 ºC y Ta (temperatura ambiental) = 25 ºC:

$$h_a = 9.77 + 0.07(T_s - T_a)^{0.25} = 9.77 + 0.07(98\ °C - 25\ °C)^{0.25} = 14.88\ [\frac{W}{m^2K}]$$

(c.6) Cálculo del coeficiente combinado de transferencia de calor.

Con el coeficiente combinado de transferencia de calor, el área total de transferencia de calor y el tiempo de hervor (60 minutos = 3600 [s]), es posible determinar el calor perdido al ambiente en dicho período de tiempo:

$$Q = h_a A_T (T_s - T_a) * t = 14.88\frac{W}{m^2K} * 0.5589\ m^2(98\ °C - 25\ °C) * 3600\ s = 2186\ [kJ]$$

(c.7) Cálculo de las pérdidas de calor al ambiente.

R/ El calor perdido al ambiente es igual a 2186 [kJ].

Ejemplo 3 Cálculo del área total de transferencia de calor al ambiente.

Se tiene un equipo de maceración cilíndrico con las siguientes características:

Característica	Valor numérico
Radio exterior	0.178 m
Altura exterior	0.500 m

a) Si se conoce que las bases del equipo poseen un aislante perfecto: calcule el área total de transferencia con el ambiente.

Solución:
En este caso, las bases del equipo están aisladas, por lo que el área de mayor transferencia al ambiente, es la correspondiente a las paredes del equipo de maceración.
Al área total de este equipo puede expresarse de la siguiente forma:
$A_{Equipo} = P_b * h$; donde P_b : perímetro de la base y h : altura.
$P_b = 2\pi r$; donde r : radio del equipo.
Sustituyendo P_b en la ecuación del área del equipo nos queda:

$$A_{Equipo} = P_b * h = 2\pi rh = 2\pi 0.178\ [m] * 0.500 [m] = 0.5589\ [m^2]$$

(c.8) Cálculo del área total de transferencia de calor del equipo.

Si observamos el ejemplo anterior, veremos que el área de transferencia de calor es igual a la obtenida en este ejercicio; se tratan de equipos semejantes.

R/ El área de transferencia de calor es igual a 0.5589 [m^2].

Ejemplo 4 Cálculo del calor necesario para calentar un equipo.

Se desea conocer el calor necesario para calentar un equipo de cobre (con masa de 20 [kg]) desde los 28 ºC hasta los 100 ºC. El C_p del cobre es igual a 0.385 [kJ/kg.ºC].

Solución:

$$Q_{Equipo} = m_{equipo} C_p \Delta T = 20\ [kg] * 0.385\ \left[\frac{kJ}{kg\ °C}\right] * (100\ °C - 28\ °C) = 554.4\ [kJ]$$

(c.8) Cálculo del calor necesario para calentar un equipo de cobre de 20 [kg].

Ejemplo 5 Temperatura final de una mezcla.

Se desean mezclar dos líquidos. El líquido 1 (58 [kg] de agua) se encuentra a una temperatura de 79 ºC; el líquido 2 (100 [kg] de agua + maltosa con $\rho = 1048\ [\frac{kg}{m^3}]$ a 20 °C) se encuentra a una temperatura de 70 ºC. Calcule la temperatura final luego de la mezcla.

Solución:
Es posible determinar la temperatura de la mezcla mediante la siguiente ecuación:

$$T_m = \left[\frac{m_1 * C_{p1}(T_1 - T_2)}{(m_1 + m_2) * C_{pm}}\right] + T_2$$

En la que se desconoce la C_{pm}(calor específico de la mezcla).

Cálculos con el líquido 2 (agua + maltosa):

$$1048\ [\frac{kg}{m^3}] = 12\ °P\ ;\ \frac{100\ kg}{1048\ \frac{kg}{m^3}} = 95.41\ [L]\ a\ 20\ °C$$

(c.8) Cálculo del volumen de agua + maltosa a 20 ºC.

Si el volumen a 20 ºC es igual a 95.41 [L] y el ºP es igual a 12, sabemos que existen 12 [g] de sólidos solubles por cada 100 [mL] en los 95.41 [L]. Para conocer la cantidad total de sólidos solubles:

$$\frac{95.41\ L*1000}{100} = 954.1\ partes\ de\ 100\ [mL]$$

(c.9) Cálculo de las partes de 100 [mL] que existen en un volumen de 95.41 [L].

Si por cada parte de 100 [mL] a 20 ºC existen 12 [g] de sólidos solubles (recordar concepto de ºP), entonces:

$$954.1 * 12 = 11449.2\ [g]$$

(c.10) Cálculo de los gramos totales disueltos.

Cálculos con el líquido 1 (agua):

$$\frac{58\ [kg]}{998.23\ \frac{kg}{m^3}} = 58.10\ [L]\ a\ 20\ °C$$

Ahora es posible sumar los volúmenes y conocer el valor del descenso del ºP por la mezcla:

$$V_{Total}(20\ °C) = 58.10\ [L] + 95.41\ [L] = 153.51\ [L]$$

(c.11) Cálculo del volumen a 20 °C tras la mezcla.

Como la cantidad se sólidos solubles es exactamente la misma (11449.2 g) (recordar que el agua no posee una cantidad de sólidos solubles significativa) entonces, ahora existen 11449.2 [g] disueltos en 153.1 [L]:

$$ºP = \frac{m * (fR*100)}{H_2O} = \frac{11.4492\ kg * (1*100)}{153.51} = 7.45\ [°P]$$

(c.12) Cálculo del °P en los 153.51 [L].

Debemos recordar que los 11.4492 [kg] con los que trabajamos en el cálculo anterior son sólidos solubles, por lo que tomamos la fracción de rendimiento como 1.

$$h = 100 - °P = 100 - 7.45\ [°P] = 92.55\%$$

(c.13) Cálculo de la humedad aproximada.

$$C_p = \frac{h}{100} + 0.2\left[\frac{100-h}{100}\right] = \frac{92.55}{100} + 0.2\left[\frac{100-92.55}{100}\right] = 0.9404\ \frac{kcal}{kg*°C}$$

(c.14) Cálculo de la capacidad calorífica a presión constante luego de la mezcla.

Conociendo el C_p del agua (1 kcal/kg.ºC), es posible determinar la temperatura de la mezcla:

$$T_m = \left[\frac{m_1 * C_{p1}(T_1 - T_2)}{(m_1+m_2) * C_{pm}}\right] + T_2 = \left[\frac{58\ kg * 1\frac{kcal}{kg\ ºC} * (79\ °C - 70\ °C)}{(58\ kg + 100\ kg) * 0.9404\frac{kcal}{kg\ ºC}}\right] + 70\ °C = 73.5\ °C$$

(c.15) Cálculo de la temperatura luego de la mezcla.

Este procedimiento de cálculo es similar al que se realiza durante el lavado del afrecho.

R/ La temperatura aproximada del líquido luego de la mezcla es igual a 73.5 ºC

Ejemplo 5 Enfriamiento de un mosto.

Se desea enfriar 159 [L] de un mosto de densidad 1048 [kg/m^3] a 76 ºC, desde 76ºC hasta 20 ºC, temperatura donde comenzará la fermentación. Se conoce que la eficiencia es de un 85% y el C_p es igual a 0.902 [kcal/kg.ºC].

a) Calcule el consumo de energía en este enfriamiento.

El consumo de energía en el enfriamiento de un mosto puede ser calculado por la siguiente ecuación:

$$E = \frac{V\,[L]}{1000} * f_c * \rho \left[\frac{kg}{m^3}\right] * C_p \left[\frac{kcal}{kg * ºC}\right] * (T_1 - T_2) * \frac{1}{\eta} * \frac{1}{860} = \frac{150\,[L]}{1000} * 0.9765 * 1048 \left[\frac{kg}{m^3}\right] * 0.902 \frac{kcal}{kg * ºC} * (76\,ºC - 20ºC) * \frac{1}{0.85} * \frac{1}{860} = 10.6\,[kw - h]$$

(c.16) Cálculo del consumo energético en el enfriamiento.

R/ El consumo de energía en el enfriamiento equivale a 10.6 [kw-h].

Análisis teórico – matemático de un proceso completo (Energía)

Análisis de un proceso completo del cálculo energético en la producción de cerveza.

Vistos los ejemplos anteriores, concretaremos el cálculo energético en el proceso de producción de cerveza. El primer punto, es plantear la ecuación general como balance de energía:

$$Q_{Total} = Q_{Equipos} + Q_{Proceso} + Q_{Perdido}$$

Es decir, el calor total, viene dado por la suma del gasto en calentar los equipos (Ejemplo 4), los gastos en el proceso (Ejemplo 1; Ejemplo 2 inc. a) y el calor perdido (Ejemplo 2 inc. b).
Es conveniente aclarar, que cuando mencionamos: “el calor necesario para elevar la temperatura de un mosto de T_1 a T_2”, nos referimos al calor que se le debe ceder directamente al mosto. En la práctica, cuando elevamos el mosto desde una temperatura a otra, también lo hacemos con el equipo, porque de una forma u otra, el equipo aumentará su temperatura, y entonces existe un calor consumido en elevar dicha temperatura; aunque en el balance de energía se calcule por separado. En el ejemplo de la resistencia, el calor se transfiere a través del agua, por lo que es imposible que el metal del equipo alcance una temperatura superior a la del agua (pudiendo ser igual). Si el calor se transmite desde el metal hacia el agua, entonces el metal tendrá una temperatura superior a la del agua (pudiendo ser igual).
El calor necesario en el proceso, es la suma de los calores en la maceración (calores sensibles) y hervor (calor latente). En el Ejemplo 1, se calculó el calor necesario en un proceso para elevar la temperatura de 80 ºC a 100 ºC; en un cálculo global de la maceración, se debe analizar el calor invertido en elevar la temperatura desde la inicial hasta 100 ºC, teniendo en cuenta que en muchas ocasiones es necesario calcular esta por intervalos y luego sumarlas, bien porque cambia la masa o el C_p. Un ejemplo sería lo que ocurre en el lavado, donde primero se debe calcular la temperatura de la mezcla (luego del lavado), el nuevo C_p, para calcular el calor consumido desde la temperatura de la mezcla hasta 100 ºC.
El cálculo de las pérdidas se calcula de igual forma, en el ejemplo de la resistencia, las pérdidas más notables ocurrían por el calor perdido al ambiente, en el caso de los sistemas de calor por vapor, ocurren pérdidas al ambiente en las tuberías (ver abajo). Luego de haber calculado estos calores, solo resta sumarlos tal como indica la ecuación del balance energético.

Calor perdido al ambiente en tuberías:

$A = \pi * D_{ext} * L$ (12) Área de la tubería; donde: D_{ext} : diámetro exterior de la tubería y L : Longitud de la tubería.

$D_{ext} = D_{int} + 2e$ (13) Diámetro exterior de la tubería; donde D_{int} : diámetro interior y e : espesor del aislante.

Luego, la pérdida al ambiente en las tuberías se calcula mediante la ecuaciones 10 y 11, de forma análoga a las pérdidas en el equipo.

Otra consumo de energía viene dado por el enfriamiento, tratado en el Ejemplo 5. De igual forma, se debe calcular cuantas veces sea necesario y luego sumar los resultados para obtener el valor de consumo final. En el Ejemplo 5, asumimos una eficiencia de un 85 %, un valor muy usual en muchos cálculos de refrigeración. Este valor de eficiencia ya contempla las pérdidas.
Para determinar el gasto de combustible es necesario calcular el poder calorífico inferior del combustible usado, para el que existen numerosas ecuaciones empíricas. Luego la masa de combustible se calcula mediante la siguiente ecuación:

$M_c = \frac{Q_T}{(PCI * \eta)}$ (14) Masa de combustible, donde: Q_T : calor total en el proceso; PCI : poder calorífico inferior y η : eficiencia del generador.

Conociendo la masa de combustible para producir el calor total y los kw-h en el enfriamiento es posible obtener fácilmente el costo energético del proceso si se conocen los precios del combustible y el del kw-h.

Ejercicios S. 5.0 (Cálculo energético)

1. Se desea elevar la temperatura en un mosto de 25 ºC a 98 ºC. Se conoce la densidad del mosto (1055 [kg/m³]) y la masa (200 [kg]).
a) Calcule la humedad aproximada del mosto.
b) Calcule el calor necesario en kJ y kcal.

2. Se desean evaporar durante un hervor 30 [kg] de agua.
a) Calcule la cantidad de calor necesario en kcal.

3. Se desea enfriar un mosto desde 100 ºC hasta 5 ºC. Se conoce la densidad del mosto (1030 [kg/m³]) y la eficiencia del equipo se refrigeración (0.85)
a) Calcule la energía consumida en kw-h.

4. Se desea calcular el área de transferencia de calor de un equipo de maceración cilíndrico con las siguientes características:

Característica	Valor numérico
Radio exterior	0.200 m
Altura exterior	0.600 m

*Área lateral = $2\pi r * h$
*Área de la bases = $2\pi r^2$
*Área total = $2\pi r * h + 2\pi r^2$

Método de purificación de levaduras.

Método de purificación de levaduras con ácido fosfórico.

1.1 Descripción del método

El método de purificación de levaduras propuesto está diseñado para recuperar y aumentar la actividad de la levadura que se encuentra en el precipitado luego de la fermentación.

1.2 Materiales (m)

1.2.1 Beaker limpio de volumen V_{beaker} [mL].
1.2.2 Ácido fosfórico concentrado.
1.2.3 Gotero de cristal limpio.
1.2.4 Suficiente agua potable hervida (Temperatura = 20 – 28 ºC).
1.2.5 Agitador de cristal limpio.
1.2.6 Medidor de pH digital (calibrado).
1.2.7 Recipiente plástico limpio (con tapa de rosca) de volumen V_{rec} [mL].
1.2.8 Mosto de cerveza obtenido tras el hervor (oxigenado) (Temperatura = 20 - 28 ºC) V_{mosto} [mL].

$V_{beaker}[mL] = \text{volumen del precipitado } [mL] * 1.8$
$V_{rec}[mL] = \text{volumen del precipitado } [mL]$ (obtenido en el paso 1.3.10) $* 1.5$
$V_{mosto}[mL] = \text{volumen del precipitado } [mL]$ (obtenido en el paso 1.3.10) $* 0.2$

1.3 Técnica operatoria

1.3.1 Añadir el precipitado de la fermentación en el beaker limpio (m.1.2.1).
1.3.2 Añadir X [mL] de agua potable hervida (m.1.2.4) y revolver por diez segundos usando el agitador de cristal (m.1.2.5).

$X\,[mL] = \text{volumen del precipitado } [mL] * 0.6$

1.3.3 Añadir ácido fosfórico concentrado (m.1.2.2) con la ayuda del gotero (m.1.2.3) en el recipiente (beaker) que contiene la mezcla (precipitado + X [mL] de agua potable) e ir agitando. Mientras se añade el ácido fosfórico concentrado (gota a gota), se deben ir realizando mediciones de pH con el medidor digital (m.1.2.6) hasta que el valor de pH de sitúe aproximadamente en 2.
1.3.4 Obtenido el valor de pH necesario en la mezcla, se somete a enfriamiento en el mismo recipiente (beaker) hasta los 8 ºC. La mezcla se debe mantener a esta temperatura por un intervalo de tiempo de 2 – 3 horas.
1.3.5 Pasado el tiempo de enfriamiento necesario (2 – 3 horas), la mezcla se habrá separado, y se podrá observar la crema de levadura en el fondo (precipitado) y un líquido turbio sobre esta formado principalmente por agua y partículas en suspensión. Este líquido turbio debe ser desechado cuidadosamente para quedarnos únicamente con el precipitado (crema).
1.3.6 La crema en el fondo del beaker debe ser diluida nuevamente con X [mL] de agua; esta vez no es necesario añadir ácido fosfórico.
1.3.7 La nueva mezcla (agua + precipitado) se somete nuevamente a enfriamiento (T = 8 ºC), pero solo por el tiempo necesario para lograr la precipitación.
1.3.8 Se repite el paso 1.3.5
1.3.9 Se repite el mismo procedimiento solo una vez: añadir agua potable (paso 1.3.6), enfriamiento a 8 ºC (paso 1.3.7) y desechar el líquido turbio (paso 1.3.5).
1.3.10 Realizar una medición de pH a la crema obtenida y asegurar que el pH se encuentra en el intervalo 5 – 7. De no encontrarse en este intervalo, es decir, pH < 5, se debe realizar nuevamente el procedimiento 1.3.9.
1.3.11 Comprobado el intervalo de pH (5 - 7), añadir la crema en el recipiente de plástico (m.1.2.7).

1.3.12 Añadir el mosto de cerveza obtenido tras el hervor (m.1.2.8; cuyo volumen debe ser calculado mediante la ecuación propuesta) al recipiente plástico que contiene la crema (m.1.2.7). Cerrar el recipiente enroscando la tapa.
1.3.13 Agitar la mezcla (crema + mosto) por 5 segundos.
1.3.14 (Procedimiento alternativo) Enfriar la mezcla hasta una temperatura de 0 ºC – 2 ºC para conservarla por un intervalo de tiempo de 15 – 30 días.
1.3.15 (Procedimiento alternativo) Dejar la mezcla reposar por un día a una temperatura de 12 ºC y usar inmediatamente para fermentar un mosto.

Resultado final:
Tras realizar el procedimiento se obtendrá una crema con una actividad relativamente alta y libre de contaminaciones.

Conservación de Levaduras en agua por largos períodos.

Lic. Juan Carlos Setti

Luego de estudiar primero y experimentar después diferentes métodos para conservar mis preciadas levaduras en casa, finalmente encuentro uno que no pone en riesgo mis cepas, que las "resucita" en forma segura y rápida, y que me ha permitido elaborar cerveza con levaduras guardadas durante 7 años.

Anteriormente, he experimentado el método de criogenación con glicerina, pero a nivel casero no lo recomiendo, ya que la temperatura que podemos obtener en un freezer o congelador hogareño, raramente baja de los -20 ºC y, para evitar cristalizaciones que matan las células, deberíamos disponer al menos de -70 ºC. Eso, sumado a variaciones de temperatura que se producen en nuestros freezers hogareños, daña sensiblemente a las células y en no mucho tiempo, mueren.

Otro método es el de sucesivos cultivos y repiques en medio nutritivo de agar agar, pero se debe estar muy atento a la fecha de guarda del cultivo, pues si lo descuidamos, nos podemos encontrar con las células muertas. Creo, además, que sucesivos repiques, no es lo más aconsejable debido a la capacidad mutágena de *saccharomyces cerevisiae.*

Un día, a raíz de un comentario de un colega cervecero, empecé a investigar sobre la posibilidad de conservar células de levadura en agua destilada estéril. Fue así que buscando y rebuscando en la Web, finalmente di con un documento académico que detalla los experimentos que hizo el investigador español Aldo Castellani en los años 30 (*Viability of Some Pathogenic Fungi in Distilled Water*). Allí, pude leer que, efectivamente el método es bastante simple y muy efectivo: a partir de células bien vitales y jóvenes, sólo se deben suspender en una buena cantidad de agua destilada estéril, para guardarlas luego en un ambiente a temperatura estable, preferentemente en el refrigerador.



Inmediatamente comencé con mis primeros experimentos:
Inicialmente esterilizaba mi propia agua destilada, pero luego preferí usar un agua destilada estéril envasada, que se usa en canalizaciones de medicina, con muy satisfactorios resultados.
Así, las cepas conservadas fueron analizadas microscópicamente, previa tinción con Azul de Metileno que sólo colorea las células muertas, lo que permitió observar, que luego de 3 años de guarda no había aumentado significativamente la tasa de organismos inviables.

Luego de sistematizar casi 10 años de experiencias y empirismo, a continuación despliego una serie de recomendaciones que se deben tener en cuanta si queremos conservar cepas viables por años:

Se debe partir de células jóvenes y vitales, obtenidas con oxigenación constante de un buen medio nutritivo líquido (mosto de malta de cebada), con la indispensable presencia de todos los oligoelementos que estas levaduras necesitan para formar una membrana celular saludable. Para asegurarme de ello, utilizo agua corriente de red e incorporo el nutriente "Servomyces" (*http://www.danstaryeast.com/products/servomyces-beer-yeast-nutrient)* en una proporción de 20 [mg] por litro de mosto de densidad 1040 – 1050 [kg/m^3].

Utilizo mosto lupulado filtrado, ya que es muy importante para el proceso que no haya residuos sólidos en suspensión.

Se puede usar el sobrante de la fabricación de cerveza, pero no es conveniente usar mostos demasiado ricos en dextrinas (con maltas de cebada como las Munich, Vienna, etc. o maltas de trigo), ya que tienden a

formar abundantes precipitados que complican el proceso.

Lo ideal es hacer un macerado y cocción de un mosto lupulado de densidad adecuada y 100% malta base de cebada (malta Pilsen o clara).

Una vez obtenido el medio estéril, sembramos la levadura y ponemos en agitación y aireado constante, a temperatura ambiente, aunque debiendo evitar las altas temperaturas que favorecen las mutaciones. La turbidez nos indicará la formación de nuevas células.

El aireado, por agitación u otro, es indispensable porque mientras haya oxígeno, las células van a consumir los azúcares para reproducirse y no para fabricar alcohol.

Una forma segura y simple de esterilizar el mosto, es colocando unos 300 [mL] en una botella de vidrio de 500 [mL] con un agitador magnético teflonado (también llamado *buzo*) dentro. Cubrimos la boca con un trozo de tejido sintético de malla fina que permita el paso del aire (llamado *Friselina* o *No Tejido*)[1] doblado en 4 y sujeto por una banda elástica. Lo introducimos en un horno a microondas y empezamos a aplicar energía hasta que comienza a hervir.
Desde este momento, le vamos aplicando golpes de energía de unos pocos segundos como para mantener el hervor por unos 4 o 5 minutos.
Con eso es suficiente, ya que por efecto combinado de la temperatura (que supera por momentos los 100ºC) y la radiación, no queda bacteria o espora viable en el mosto. Garantizado.

Sembramos la levadura entonces, sobre llama de mechero, con el máximo de precauciones para evitar la entrada de microorganismos.

Una vez agotado el mosto, dejamos decantar las células uno o más días, según la capacidad floculante de cada cepa, hasta tener un precipitado color crema.

[1] Es el tejido sintético con que se confeccionan los barbijos y delantales descartables de cirugía.

Obtenido el precipitado, sobre llama de mechero o campana de flujo laminar, vaciamos el líquido (conservando el precipitado) y lo reemplazamos por nuestra agua destilada estéril.
Tapamos con una buena tapa con sello hermético (bien sanitizada, por supuesto), agitamos para suspender las células y guardamos de nuevo para que decanten.
Atención aquí, porque no es conveniente dejar decantar más de lo necesario, pues las impurezas que están suspendidas en el agua, también decantarán luego de hacerlo las células, con lo que no será eficiente el proceso de lavado.
Ahora veremos que el agua tomó un color que no tenía, lo que nos indica que el lavado de nuestras células marcha bien.
Descartamos el agua con las impurezas y repetimos este proceso de lavado dos o tres veces más, aunque en el último no descartamos el agua, ya que será la que finalmente vamos a utilizar para conservar a nuestra cepa.
Es muy importante el correcto lavado de las células, ya que de haber residuos, estos nos acortarán dramáticamente la vida de nuestras levaduras.
Etiquetamos ahora el frasco con el tipo de cepa y la fecha y lo guardamos en el refrigerador, ¡cuidando que no se congele!
Si deseamos repartirlo en varios tubos pequeños con tapa, ahora es el momento, pero siempre extremando las precauciones con respecto a las contaminaciones y esterilizando los tubos, de ser posible, en olla a presión.
Personalmente, utilizo un frasco grande para uso, de donde voy sacando para preparar los inóculos de mis cocciones y también reservo algunos tubos pequeños de cada cepa, a modo de respaldo.
Si hicimos las cosas bien, veremos que el precipitado del fondo permanece casi inalterable con el paso del tiempo, aún tras varios años.



Lo que podremos ver es que, a medida que pasan los años, el precipitado, que inicialmente es de color crema, se va tornando más oscuro, tendiendo al marrón claro, lo que nos indica que va aumentando el número de células inviables; pero esto se empieza a observar luego de algunos años de guarda.

Para reactivar y utilizar nuestra cepa, sólo debemos preparar un mosto lupulado estéril 1040 – 1050 [kg/m^3], con agitador magnético y sembrar con el contenido de un tubo guardado, o unos 50 [mL] del frasco grande que las guarda; previo agitado para suspender las células.

Luego de la siembra, debemos cubrir la boca de nuestro activador con Friselina y poner a multiplicar en agitador magnético.

Transcurridas unas 12 horas podemos ver que el mosto comienza a enturbiarse, señal evidente que aumentó la biomasa.
En 24 horas o algo más, el mosto estará totalmente agotado y podemos usarlo para sembrar un lote de 20 [L] de cerveza o repartirlo en 2 frascos y agregar más mosto fresco para obtener mayor biomasa.

De no disponerse de Friselina, se puede usar alguna tela sintética de trama fina y preferentemente que no absorba los líquidos. También es una buena práctica, cubrir la tela y boca del frasco con un capuchón de papel de aluminio para evitar que el polvo se deposite.

¿Qué sucede si se contamina una cepa y cómo se percibe esto?
Una contaminación aparecerá luego de unos meses de guarda de la levadura. Se puede ver como un velo blanco, gris o negro, bogando o flotando sobre el agua.
En ese caso, lo mejor será deshacernos de todo el contenido, pero aún así se puede descontaminar y rescatar la cepa.
Para ello descartaremos todo el líquido conservando el precipitado; hacemos un par de lavados con agua estéril (no es necesario que sea destilada, pero si declorada) y agregamos solución de ácido fosfórico hasta lograr un pH entre 2,4 y 2, para dejar en reposo por unos 90 minutos. Cumplido, descartamos buena parte del agua acidulada y sembramos en nuestro mosto estéril.
Este método de eliminación de bacterias, llamado *Lavado Ácido*, no afecta a otras levaduras indeseables que puedan contaminar nuestras cepas puras. Así que debemos tener precaución con esas levaduras nativas.

Si deseamos guardar nuestras levaduras, es conveniente además hacer un par de repiques con una pequeña muestra para minimizar los contaminantes por dilución.

¿Puedo rescatar levaduras de botellas de cerveza que la contengan?
La respuesta es sí, pero no es fácil, y necesitamos una buena dosis de suerte, además de una cerveza fresca y medianamente bien tratada.
Ocurre que algunos fabricantes de cervezas comerciales, utilizan levaduras para carbonatar en la botella, casi siempre la misma que fermentó el mosto original.
En ese caso, debemos dejar reposar la botella de cerveza en la heladera/ frigorífico /nevera por unos días para que las células decanten.
Luego sanitizamos con alcohol [70 %] y un copo de algodón, el pico y tapa de la botella; destapamos sobre llama de mechero Bunsen (¡Cuidado con el fuego y el alcohol!) y descartamos toda la cerveza, conservando el precipitado.
Agregamos un mosto estéril, de densidad 1010 [kg/m^3], colocamos un globo sanitizado con alcohol en la boca y disponemos la botella en un lugar templado.
Luego de un tiempo (depende del grado de vitalidad de las células, pero será entre 12 y 96 horas), veremos que el globo se hincha, señal inequívoca que nuestras células empezaron su actividad fermentativa con ese poco de azúcares del mosto.



Si sucede esto, esperamos entonces unos días que la actividad concluya y decanten las células. Descartamos el líquido (este es un buen momento de hacerle una cata para verificar organolépticamente que todo esté en orden) agregamos algo de agua estéril, removemos para suspender las células y ponemos una pequeña cantidad de nuestras jóvenes células en un mosto (1040 [kg/m^3]) estéril con tapón de género y agitador magnético.

Si deseamos guardar esta nueva cepa, es necesario hacerle un lavado ácido para descartar contaminaciones.
Si luego de 6 días no hay señales de actividad en nuestro globo testigo, podemos descartar todo ya que nuestras levaduras no estaban viables.
Para intentar rescatar estas levaduras, es preferible elegir botellas bien tratadas, que no hayan sufrido temperaturas extremas ni luz fuerte y, por supuesto, que sean lo más frescas posibles.
Por supuesto que, de una cerveza pasteurizada no esperemos encontrar células viables.

Conclusión:

Espero que se entienda el método y que les sea de utilidad, pero debemos recordar siempre que se debe observar el máximo de limpieza y cuidado en todas estas manipulaciones: trabajar sobre mechero o campana de flujo laminar, flamear la boca de los frascos, sanitizar todo elemento de laboratorio, (sonda de Phmetro, agitador, etc.) lavarnos las manos y sanitizarlas con alcohol [70 %]; usar barbijo; cerrar puertas y ventanas para trabajar, y jamás destapar nada sin haber colocado sobre llama de mechero. Tengan en cuenta que si pretendemos conservar las levaduras por períodos largos, cualquier espora que se nos cuele, tendrá el tiempo suficiente para despertarse y progresar.

Anexos

Tablas y herramientas necesarias.

Tabla 1. Densidades del agua pura de 0 – 110 °C

Temperatura °C	ρ (kg/m³)	Temperatura °C	ρ (kg/m³)	Temperatura °C	ρ (kg/m³)
0	999.87	22	997.80	44	990.66
1	999.93	23	997.57	45	990.25
2	999.97	24	997.33	46	989.82
3	999.99	25	997.08	47	989.40
4	1000	26	996.82	48	988.96
5	999,99	27	996.55	49	988.52
6	999.97	28	996.27	50	988.07
7	999.93	29	995.98	51	987.62
8	999.88	30	995.68	52	987.15
9	999.81	31	995.37	53	986.69
10	999.73	32	995.06	54	986.21
11	999.63	33	994.73	55	985.73
12	999.52	34	994.40	60	983.24
13	999.40	35	994.06	65	980.59
14	999.27	36	993.71	70	977.81
15	999.13	37	993.36	75	974.89
16	998.97	38	993.00	80	971.83
17	998.80	39	992.63	85	968.65
18	998.62	40	992.25	90	965.34
19	998.43	41	991.87	95	961.92
20	998.23	42	991.47	100	958.38
21	998.02	43	991.07	110	951.00

[**Ref.** Table 290 "*Smithsonian Physical Tables*," 9th rev; ed., Washington, D.C., 1954.]

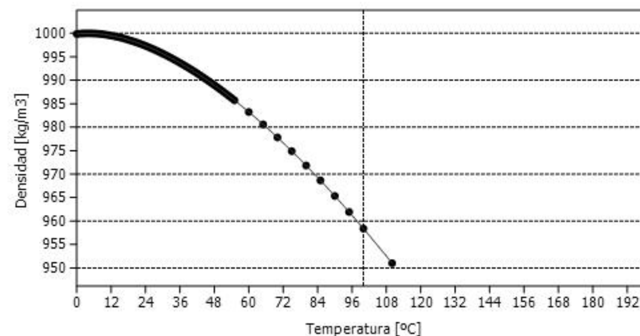
Para facilitar el trabajo con los cálculos que impliquen densidades en sistemas de cómputo, fue construido el siguiente modelo matemático:

ρ = [(1.064*(0.000000001)*T^5) - (3.943*(0.0000001)*T^4) + (6.423*(0.00001)*T^3) - (0.008307*T^2) + (0.06116*T) + 999.9]

Donde; Temperatura a la que se desea obtener la densidad del agua pura.

Confiabilidad del modelo: 99.99% en intervalo 0° -110 °C

Obtenido en: Past 3.01 (2013). Hammer., Harper, D.A.T., Ryan, P.D. 2001.
PAST: Paleontological Statistic software package for education and data analysis.
Paleontología Electrónica 4(1): 9pp.



[**Ref.** Enrique Marcet, Polynomial Model for Density of Water 0° to 110 °C]

Tabla 2. Grado Plato – Brix – Gravedad (*Densidad*)

Brix	Plato	SG	Brix	Plato	SG	Brix	Plato	SG	Brix	Plato	SG
0.0	0.0	1000.0	8.0	8.3	1033.1	16.0	16.6	1068.2	24.0	25.0	1105.5
0.2	0.2	1000.8	8.2	8.5	1034.0	16.2	16.8	1069.1	24.2	25.2	1106.4
0.4	0.4	1001.6	8.4	8.7	1034.8	16.4	17.1	1070.0	24.4	25.4	1107.4
0.6	0.6	1002.4	8.6	8.9	1035.7	16.6	17.3	1070.9	24.6	25.6	1108.4
0.8	0.8	1003.2	8.8	9.2	1036.5	16.8	17.5	1071.8	24.8	25.8	1109.3
1.0	1.0	1004.0	9.0	9.4	1037.4	17.0	17.7	1072.7	25.0	26.0	1110.3
1.2	1.2	1004.8	9.2	9.6	1038.2	17.2	17.9	1073.7	25.2	26.2	1111.3
1.4	1.5	1005.7	9.4	9.8	1039.1	17.4	18.1	1074.6	25.4	26.4	1112.2
1.6	1.7	1006.5	9.6	10.0	1040.0	17.6	18.3	1075.5	25.6	26.6	1113.2
1.8	1.9	1007.3	9.8	10.2	1040.8	17.8	18.5	1076.4	25.8	26.8	1114.2
2.0	2.1	1008.1	10.0	10.4	1041.7	18.0	18.7	1077.3	26.0	27.0	1115.2
2.2	2.3	1008.9	10.2	10.6	1042.6	18.2	18.9	1078.2	26.2	27.2	1116.1
2.4	2.5	1009.7	10.4	10.8	1043.4	18.4	19.1	1079.1	26.4	27.5	1117.1
2.6	2.7	1010.6	10.6	11.0	1044.3	18.6	19.3	1080.1	26.6	27.7	1118.1
2.8	2.9	1011.4	10.8	11.2	1045.2	18.8	19.6	1081.0	26.8	27.9	1119.1
3.0	3.1	1012.2	11.0	11.4	1046.0	19.0	19.8	1081.9	27.0	28.1	1120.1
3.2	3.3	1013.0	11.2	11.6	1046.9	19.2	20.0	1082.8	27.2	28.3	1121.0
3.4	3.5	1013.8	11.4	11.9	1047.8	19.4	20.2	1083.8	27.4	28.5	1122.0
3.6	3.7	1014.7	11.6	12.1	1048.6	19.6	20.4	1084.7	27.6	28.7	1123.0
3.8	4.0	1015.5	11.8	12.3	1049.5	19.8	20.6	1085.6	27.8	28.9	1124.0
4.0	4.2	1016.3	12.0	12.5	1050.4	20.0	20.8	1086.6	28.0	29.1	1125.0
4.2	4.4	1017.1	12.2	12.7	1051.3	20.2	21.0	1087.5	28.2	29.3	1126.0
4.4	4.6	1018.0	12.4	12.9	1052.2	20.4	21.2	1088.4	28.4	29.5	1127.0
4.6	4.8	1018.8	12.6	13.1	1053.0	20.6	21.4	1089.4	28.6	29.7	1128.0
4.8	5.0	1019.6	12.8	13.3	1053.9	20.8	21.6	1090.3	28.8	30.0	1129.0
5.0	5.2	1020.5	13.0	13.5	1054.8	21.0	21.8	1091.2	29.0	30.2	1130.0
5.2	5.4	1021.3	13.2	13.7	1055.7	21.2	22.0	1092.2	29.2	30.4	1131.0
5.4	5.6	1022.1	13.4	13.9	1056.6	21.4	22.3	1093.1	29.4	30.6	1132.0
5.6	5.8	1023.0	13.6	14.1	1057.5	21.6	22.5	1094.1	29.6	30.8	1133.0
5.8	6.0	1023.8	13.8	14.4	1058.3	21.8	22.7	1095.0	29.8	31.0	1134.0
6.0	6.2	1024.7	14.0	14.6	1059.2	22.0	22.9	1095.9	30.0	31.2	1135.0
6.2	6.4	1025.5	14.2	14.8	1060.1	22.2	23.1	1096.9	30.2	31.4	1136.0
6.4	6.7	1026.3	14.4	15.0	1061.0	22.4	23.3	1097.8	30.4	31.6	1137.0
6.6	6.9	1027.2	14.6	15.2	1061.9	22.6	23.5	1098.8	30.6	31.8	1138.0
6.8	7.1	1028.0	14.8	15.4	1062.8	22.8	23.7	1099.7	30.8	32.0	1139.0
7.0	7.3	1028.9	15.0	15.6	1063.7	23.0	23.9	1100.7	31.0	32.2	1140.0
7.2	7.5	1029.7	15.2	15.8	1064.6	23.2	24.1	1101.6	31.2	32.4	1141.0
7.4	7.7	1030.6	15.4	16.0	1065.5	23.4	24.3	1102.6	31.4	32.7	1142.1
7.6	7.9	1031.4	15.6	16.2	1066.4	23.6	24.5	1103.6	31.6	32.9	1143.1
7.8	8.1	1032.3	15.8	16.4	1067.3	23.8	24.8	1104.5	31.8	33.1	1144.1

[**Ref.** Braukaiser., Refractometer Brix reading to wort Plato and SG conversion table. Disponible en: http://braukaiser.com]

Factores de conversión de unidades

Volumen
1 litro = 1000 cm^3 = $10^{-3} m^3$ = 0.03531ft^3 = 61.02 in^3
1 ft^3 = 0.02832 m^3 = 28.32 litros = 7.477 galones
1 galón = 3.788 litros

Tiempo
1 min = 60 s
1h = 3600 s
1d = 86 400 s

Energía
1 J = 10^7 ergs = 0.239 cal

1cal = 4.186 J (basado en caloría a 15°)
1 ft.lb = 1.356 J
1 Btu = 1055 J = 252 cal = 778 ft.lb
1 ev = 1.602 x 10^{-19} J
1 kWh = 3.600 x 10^6 J

Área
1 cm^2 = 0.155 in^2

1 m^2 = 10^4 cm^2 = 10.76 ft^2
1 in^2 = 6.452 cm^2
1 ft^2 = 144 in^2 = 0.0929 m^2

Fuerza
1 N = 10^3 din = 0.2248 lb
1 lb = 4.448 N

Presión
1 Pa = 1 N/m^2 = 1.451 x 10^{-4} lb/in^2 = 0.209 lb/ft^2
1 bar = 10^5 Pa
1 lb/in^2 = 6891 Pa
1 lb/ft^2 = 47.85 Pa
1 atm = 1.013 x 10^5 Pa = 1.013 bar
1 mm Hg = 1 torr = 133.3 Pa

[**Ref(1).** NIST Guide to SI Units — Rules and Style Conventions». National Institute of Standards and T echnology (July 2008)]
[**Ref(2).** Ambler T hompson and Barry N. T aylor, (2008), Guide for the Use of the International System of Units (SI), (Special publication 811), Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and T echnology,]

Tabla 3. Problemas en la producción de cerveza y posibles soluciones.

Químico y descripción	Nivel de aceptación	Causas	Solución y/o control
Acetaldehído: Manzanas verdes; sidra; avinagrado.	A niveles bajos en American Lagers	(1) Remoción prematura de la levadura (2) Floculación prematura (3) Deflexión del oxígeno (4) Contaminación por bacterias (5) Oxidación	(1) Fermentación completa (2) Cepa de levadura (3) Aireación del mosto (4) Limpieza (5) Evitar el contacto de la cerveza con el oxígeno.
Dimetil de sulfuro (DMS): vegetales hervidos.	A niveles bajos en American Lager; Cream Ales	(1) Contaminación (2) Insuficiente hervido (3) Levadura contaminada (4) Enfriamiento lento del mosto (5) Baja tasa de inoculación	(1) Limpieza (2) Suficiente Hervido (3) Levadura adecuada (4) Enfriamiento rápido del mosto (5) Tasa de inoculación adecuada.
Ácido isovalérico (Lúpulo degradado): Aroma a Queso	Ninguno	(1) Utilización de lúpulos degradados.	(1) Evitar el uso de lúpulos viejos o conservados en condiciones inadecuadas.
Benzaldehído: aroma de almendra.	En ocasiones: en Barley Wine u Old Ale.	(1) Oxidación durante el almacenamiento.	(1) Condiciones adecuadas de almacenamiento y consumo dentro del período de vida útil.
Diacetilo	En algunos estilos: Scotch Ales, Bitters, Pilsen y otras	(1) Prematuro enfiamiento (2) Baja temperatura de fermentación (3) Falta de vitalidad en la levadura (4) Pediococcus (5) Baja inoculación	(1) Fermentación completa (2) Temperatura de fermentación adecuada (3) Cepa vital y pura (4) Limpieza (5) Inoculación adecuada

[**Ref.** Centro Integral de Bebidas Artesanales (CIBART)., Manual de solución de problemas en cervezas. Disponible en: http://www.todocerveza.com.ar.